



---

## La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges

*The structure of the nave in Bourges cathedral*

**Frédéric Epaud**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/racf/1686>

ISSN : 1951-6207

### Éditeur

Fédération pour l'édition de la Revue archéologique du centre de la France (FERACF)

### Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2011

Pagination : 501-554

ISSN : 0220-6617

### Référence électronique

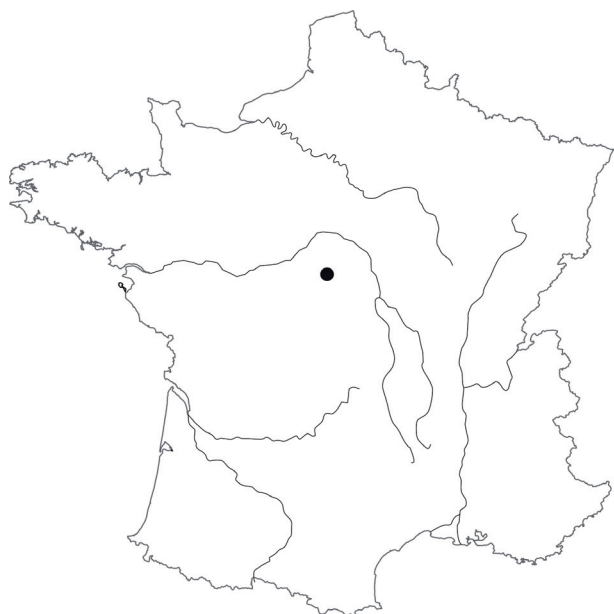
Frédéric Epaud, « La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges », *Revue archéologique du Centre de la France* [En ligne], Tome 50 | 2011, mis en ligne le 24 avril 2014, consulté le 10 décembre 2020.

URL : <http://journals.openedition.org/racf/1686>

---



Les contenus de la *Revue archéologique du centre de la France* sont disponibles selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.



Frédéric EPAUD\*

---

## La charpente de la nef de la cathédrale de Bourges

THE ROOF STRUCTURE OF THE NAVE IN BOURGES CATHEDRAL

**Mots-clés :** Bourges, charpente, gothique, bois, chantier.

**Keywords:** *Bourges, roof structure, Gothic, wood, construction site.*

**Résumé :** La cathédrale gothique de Bourges a été édifiée en deux campagnes avec le chœur, de 1195 à 1214, puis la nef, de 1225 à 1255, après 10 ans d'interruption du chantier. Ses charpentes d'origine ont été en partie reconstruites sur l'ensemble des collatéraux, suite à un incendie en 1559, et sur la partie médiane du grand vaisseau, entre 1747 et 1754, du fait de la suppression du faux transept et de sa flèche. Le relevé archéologique de la charpente gothique subsistante sur la nef, et l'analyse dendrochronologique de ses bois démontrent que les abattages se sont étalés de 1230 à 1257, avec deux grandes campagnes de coupes de bois entre 1240 et 1244 et en automne-hiver 1254-1255, juste avant la mise en œuvre et le levage de la charpente en 1256 ou peu après. Ces coupes successives supposent un approvisionnement du chantier par des donations de bois ou de parcelles forestières exploitées aussitôt, obligeant à un stockage des bois dans l'attente du chantier. La charpente à chevrons-formant-fermes a été exécutée selon un premier projet qui a été modifié en cours de réalisation pour y insérer un dispositif de contreventement longitudinal, avec une nouvelle structure des fermes principales permettant de le recevoir. Ce contreventement axial est doublé par un second situé dans le plan des chevrons, attesté pour la première fois par la dendrochronologie du milieu du XIII<sup>e</sup> s. En 1262, les travées orientales de la charpente de la nef sont reprises pour permettre le rajout d'une flèche en bois et d'un faux-transept à l'aplomb de la quatrième travée de voûtes.

---

\* Chargé de recherche, CNRS, UMR 6173 - Laboratoire archéologie et territoires, frederic.epaud@univ-tours.fr



**Abstract:**

*The Gothic cathedral of Bourges was built in two phases, with the chancel from 1195 to 1214 then the nave from 1225 to 1255, after a 10-year interruption to the building work. The original roof structure was in part reconstructed on all the sides, following a fire in 1559, and on the middle part of the great nave, between 1747 and 1754, due to the removal of the false transept and its spire. The archaeological survey of the structure remaining on the Gothic nave, and the dendrochronological analysis of its timber shows that the trees were felled over a period from 1230 to 1257, with two major felling campaigns between 1240 and 1244 and autumn-winter 1254-1255, just prior to the implementation and lifting of the structure in 1256 or soon after. These successive fellings suggest a supply to the site from donations of wood or forest plots used immediately, requiring the storage of wood pending construction. The trussed rafter structure was built according to a first plan that was modified while construction was underway to insert a longitudinal bracing device, with a new structure of main trusses to support it. This axial bracing was doubled by a second situated in the plane of the rafters, with a date, proven by dendrochronology for the first time, in the middle of the thirteenth century. In 1262 the eastern bays of the structure of the nave were changed to enable the addition of a wooden spire and a false transept directly below the fourth arch span.*

## 1. LES PHASES DE CONSTRUCTION DE LA CATHÉDRALE : ÉTAT DE LA QUESTION

## 2. LA CHARPENTE DES GRANDS COMBLES : PRÉSENTATION

## 3. LES BOIS

## 4. LE PLAN DE LA CHARPENTE

## 5. LES FERMES PRINCIPALES

## 6. LES FERMES SECONDAIRES

## 7. LES ÉLÉMENTS LONGITUDINAUX

## 8. LE MARQUAGE

## 9. INTERPRÉTATIONS

## 10. LA COUVERTURE

## 11. LA PLACE DE LA CHARPENTE DE BOURGES DANS L'ÉVOLUTION DES CHARPENTES DU XIII<sup>e</sup> SIÈCLE

## CONCLUSION

## ■ BIBLIOGRAPHIE

La charpente médiévale de la cathédrale n'a fait l'objet que d'une étude succincte en 2002 (*Charpentes* 2002 : 163-165), basée sur un relevé de 1928 d'une travée et des analyses dendrochronologiques partielles dépourvues de suivi archéologique. À l'approche d'une restauration d'envergure de sa structure, cette étude a été réalisée dans le but de recueillir et de sauvegarder toutes les informations susceptibles de comprendre les étapes et les techniques de sa mise en œuvre. Financé par le Laboratoire Archéologie et Territoires de Tours<sup>1</sup>, ce travail s'appuie sur une campagne de relevés archéologiques et une nouvelle analyse dendrochronologique, financée par la Conservation régionale des monuments historiques, pour laquelle un protocole spécifique de prélèvement a été mis en place pour répondre aux questions de l'approvisionnement en bois d'œuvre<sup>2</sup>. Les données recueillies apportent un nouvel éclairage sur l'histoire de la construction de la cathédrale, sur l'organisation de son chantier, notamment concernant son approvisionnement en bois d'œuvre et, enfin, sur les techniques mises en œuvre pour l'exécution et le montage de la charpente. Ce travail a permis d'identifier plus particulièrement les modifications apportées à la structure de la charpente au cours même de ce long chantier pour l'adapter aux nouvelles techniques de contreventement qui se diffusaient alors au milieu du XIII<sup>e</sup> s. et qui témoignent des interactions possibles entre les aléas d'un chantier et la structure définitive de la charpente.

1. UMR 6173 CITERES, LAT.

2. Je tiens à remercier Julien Noblet et Franck Tournadre pour leur contribution à la correction de cet article.

## 1. HISTORIQUE DES PHASES CONSTRUCTIVES DE LA CATHÉDRALE : ÉTAT DE LA QUESTION

Au XII<sup>e</sup> s., le pouvoir de l'archevêque de Bourges, vassal de la Couronne et primat des Aquitaines, s'étendait aux évêchés de Limoges, Clermont, Cahors, Le Puy, Mende, Albi et Rodez. L'archevêque Pierre de la Châtre (1144-1171) entreprit le renouvellement architectural du chœur de la cathédrale romane et du palais. Il réforma aussi profondément l'administration du diocèse et accrut, en 1159, les revenus du chapitre (LUCHAIRE 1885 : n° 427). Ses successeurs n'eurent que peu d'influence sur la politique ou l'administration du diocèse jusqu'à l'élection de Henry de Sully en 1183 qui occupa le siège archiepiscopal jusqu'en 1199. Celui-ci augmenta le nombre des prébendes capitulaires de 30 à 40, renforça les biens fonciers du chapitre et entreprit la construction de la cathédrale gothique. Son successeur Guillaume de Donjon (1199-1208) poursuivit les travaux du chœur et fut, d'après R. Velhagen, le concepteur du programme des vitraux du déambulatoire dans lesquels il est représenté dans un vitrail du collatéral intermédiaire (VELHAGEN 1996 : 337-332). Il fut canonisé en 1218 et ses reliques furent enchâssées et déposées derrière le maître-autel (RAYNAL 1844 : 558-559). Son neveu, Simon de Sully, occupa le siège de 1218 à 1232 et dut répondre aux problèmes d'administration du diocèse comme de la lutte pour la primatie des Aquitaines (BRANNER 1962 : 19). L'achèvement de la cathédrale se fit sous l'archiepiscopat de son successeur, Philippe Berruyer (1236-1260 environ), neveu de saint Guillaume.

Aucun document ne mentionne une quelconque approbation ou implication de Philippe Auguste ni de l'aristocratie locale au projet de construction de la cathédrale gothique, ce qui suppose un financement assuré en grande partie par le chapitre.

D'après les sondages archéologiques de 1856 et 1952, la cathédrale du XI<sup>e</sup> s., érigée probablement par l'archevêque Gauzlin (1013-1030), présentait un chevet plat adossé au rempart gallo-romain, avec une abside qui réoccupait une tour de l'enceinte antique (GAUCHERY, BRANNER 1953 : 105-123 et RIBAUT 1995 : 8). Une petite crypte pourvue d'une *cella* à l'ouest en occupait le sous-sol<sup>3</sup>. Ce chevet était surélevé de 2,20 m par rapport au sol de la nef qui se situe à 4 m sous le sol gothique actuel (RIBAUT 1996 : 15). Vers 1160, sous le règne de Pierre de la Châtre (1144-1171), deux ailes latérales

y sont rajoutées avec des murs orientaux appuyés aussi contre la muraille antique. Les deux portails qui en constituaient les entrées furent démontés et réemployés plus tard dans les façades latérales de la nef gothique<sup>4</sup>. Les fouilles du XIX<sup>e</sup> s. ont montré aussi que le chœur et la nef romane avaient la même largeur que le vaisseau central gothique.

Selon R. Branner, le chantier de la cathédrale gothique aurait connu un premier maître d'œuvre dès 1195 qui aurait établi le plan de la cathédrale (Fig. 1) et érigé une partie du chevet. Les maîtres d'œuvres qui lui auraient succédé auraient conservé cette conception première, terminant le chœur, la nef et la façade selon le même parti (BRANNER 1962 : 4) (Fig. 2).

Le début de la construction de la cathédrale gothique est suggéré par une charte signée en 1195 qui confirme la donation faite par Henry de Sully de 500 livres au chapitre pour que celui-ci puisse acquérir des biens fonciers<sup>5</sup>. Elle mentionne surtout qu'Henry de Sully concède à la fabrique toutes les taxes judiciaires qu'il juge nécessaires pour financer des travaux sur la cathédrale<sup>6</sup>. Si R. Branner considère qu'il s'agit de travaux de réparation à prévoir sur la cathédrale romane, J.-Y. Ribault pense que le terme *reparatio* se traduit par réfection et qu'il induit un programme de reconstruction. Par ailleurs, les fouilles de 1952 et celles du XIX<sup>e</sup> s. du chœur roman ont mis en évidence une couche d'incendie avec des maçonneries calcinées appartenant à la cathédrale du XII<sup>e</sup> s. Cet incendie, qui reste difficile à dater, peut être à l'origine de la reconstruction de la cathédrale.

Selon R. Branner, l'ensemble du projet aurait été divisé en deux campagnes, le chœur, de 1195 à 1214, et la nef, de 1225 à 1255, elles-mêmes réparties en plusieurs phases, selon le style des chapiteaux et des bases, avec une interruption de chantier de 10 ans entre les deux campagnes.

Pour la campagne du chœur, la première phase aurait été consacrée à l'église basse, l'abside et la première travée droite, jusqu'à la hauteur des fenêtres du collatéral interne. Ces constructions se seraient appuyées contre le mur oriental antique du

4. BRANNER 1957 : 263-270 et RIBAUT 1995 : 51. Leur analyse stylistique a montré que ces portails n'appartiennent pas, à l'évidence, au *corpus* de la sculpture gothique de la cathédrale.

5. *Premier cartulaire*, Bnf, départements des manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f. 52 r° (publié par RAYNAL 1844 : 559-560).

6. *Ad hoc quia Ecclesia nostra reparatione non modicum indiget ad ipsius reparationem ad opus fabricae ius omne quod de cetero nobis proveniet...* (*ibid* : 560).

3. Son plan dissymétrique s'explique par le fait que son chevet plat s'appuie contre le rempart, orienté NNO-SSE, rappareillé.

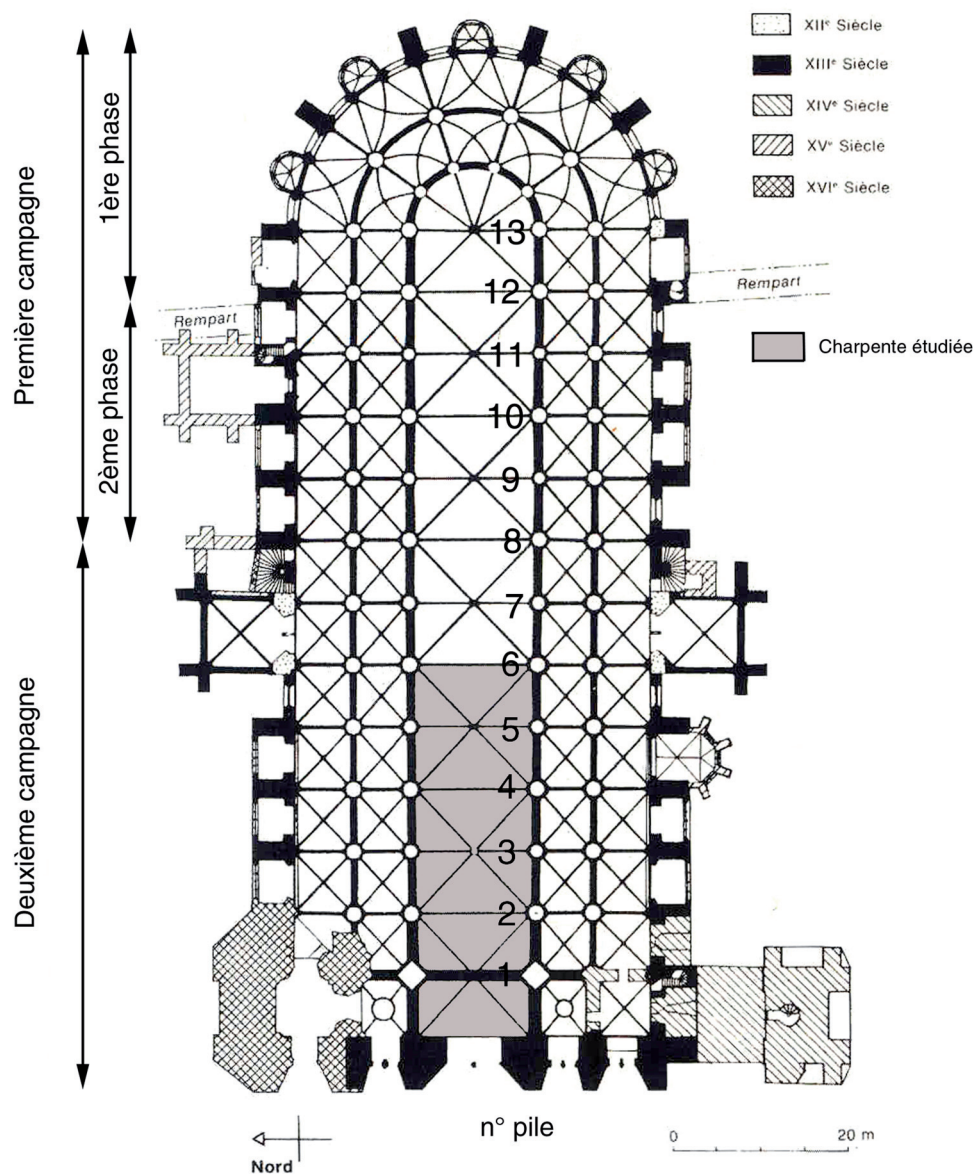


Fig. 1 : Plan de la cathédrale de Bourges (d'après plan Ribault 1995 : 27).

chœur romane dans lequel le culte aurait continué à être assuré, en dépit de l'amputation de sa tour d'enceinte et de ses ailes latérales. La seconde phase aurait consisté à détruire le chœur romane pour ériger à sa place les travées droites gothiques et ses collatéraux, jusqu'aux voûtes du collatéral intérieur<sup>7</sup>. Le culte aurait alors été transféré dans la nef romane, ce qui est confirmé par la présence d'un maître-autel à

l'est de la nef romane, révélé lors de l'installation d'un calorifère dans la nef en 1896 (RIBAUT 1996 : 16).

À la fin de 1208, l'archevêque Guillaume de Donjon prêcha la veille de l'Épiphanie dans l'église Saint Étienne (dans le chœur en chantier ?) et, d'après son biographe qui était témoin des événements, il prit froid car l'endroit était exposé au vent de tous les côtés<sup>8</sup>. Il en tomba malade et mourut quelques jours plus tard,

7. BRANNER 1962 : 51. Lors de cette phase, la crypte romane fut condamnée. Elle ne fut redécouverte et rendue accessible qu'au XVIII<sup>e</sup> s. (GAUCHERY, BRANNER 1953 : 114 et RIBAUT 1996 : 7).

8. *locus enim in quo sermonem habuit ad populum omni ex parte vento erat expositus*, *Analecta Bollandiana*, t. III, 1884, p. 274-325 (cité dans RIBAUT 1995 : 66).





Fig. 2 : Élévations internes de la nef et du chœur (Cl. Epaud).

le 10 janvier 1209. D'après J.-Y. Ribault, il fut inhumé à l'aplomb du nouveau maître autel dans l'église basse qui venait d'être achevée (RIBAUT 1995 : 66) ou alors dans la nef romane, d'après R. Branner (BRANNER 1962 : 60), avant d'être déplacé dans une chaise derrière le maître autel, vraisemblablement en 1218 lors de sa canonisation. Cet archevêque est représenté dans un vitrail du XIII<sup>e</sup> s. du collatéral intermédiaire, au sud-est du déambulatoire.

Le relevé des marques lapidaires par J.-Y. Hugoniot valide ce phasage avec un premier ensemble cohérent d'une trentaine de marques retrouvées à l'est du mur d'enceinte sur l'église basse, l'abside et le sanctuaire, avec un prolongement sur le mur latéral nord jusqu'au portail compris (HUGONIOT 1996 : 17-29). Un deuxième ensemble de marques distinctes, relevées sur les travées droites du chœur jusqu'aux portails latéraux, correspond à la deuxième phase de la campagne du chœur. Par ailleurs, le raccord entre la première et la deuxième phase s'observe à l'ouest de la première travée droite, au nord comme au sud,

par des différences dans le tracé des fenêtres intermédiaires, dans le style des culots des arcs d'encadrement du triforium inférieur et par l'interruption du passage de ce dernier (BRANNER 1962 : 42).

On observe aussi, dans le comble du collatéral intérieur, des arcs diaphragmes, placés au-dessus de chaque doubleau et qui portent un tirant en métal reliant le mur du triforium à la culée (FERAUGE, MIGNEREY 1996 : 129-148). Ces tirants, destinés à contenir la poussée des voûtes sous-jacentes, apparaissent après la première travée droite du chœur, au départ de la deuxième phase, et sont présents sur toute la longueur des collatéraux nord et sud, jusqu'aux tours occidentales, au sein desquelles les tirants ne sont plus nécessaires. La décision de mettre en place ce chaînage serait donc intervenue au début de la seconde phase et aurait été maintenue jusqu'à l'achèvement de la nef.

La troisième phase de la campagne du chœur, terminée en 1214, aurait consisté à achever les voûtes du collatéral intérieur et à ériger le triforium haut et les fenêtres hautes sur toute sa longueur, comme l'indiquerait leur uniformité de style (BRANNER 1962 : 52) (Fig. 3 et 4). Cette hypothèse est confirmée par la présence, dans le triforium haut, d'un chaînage longitudinal qui parcourt tout le chœur et qui s'arrête entre la 7<sup>e</sup> et la 8<sup>e</sup> pile en partant de l'ouest. Constitué d'une chaîne ininterrompue de petites barres de fer, ce chaînage présentait l'avantage de pouvoir être monté au fur et à mesure de l'avancement du chantier et permettait de contenir une éventuelle déformation des piles et des grandes arcades du fait de l'absence de contrebutement longitudinal à l'ouest. Il est probable qu'un mur de clôture provisoire a été construit pour fermer le chœur.

L'arrêt du chantier du chœur se situe au droit de la 8<sup>e</sup> pile pour les collatéraux nord et sud et entre la 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> pile pour les parties hautes de la nef (Fig. 5). Outre ce chaînage, on observe de nombreuses différences de part et d'autre de ce raccord comme la hauteur de butée des arcs-boutants, plus bas sur le chœur, la section des contreforts et des culées, plus massive sur la nef, le style et la forme des baies et de leur remplage à tous les étages ou encore la présence de trous de boulins en partie haute dans la nef qui possède aussi un registre de marques lapidaires différentes de celles du chœur (HUGONIOT 1996 : 17-29).

R. Branner et J.-Y. Ribault considèrent qu'à l'issue de ce chantier, le chœur était entièrement achevé, contrairement à M. Ferauge et P. Mignerey qui pensent que les grandes voûtes sexpartites ont été

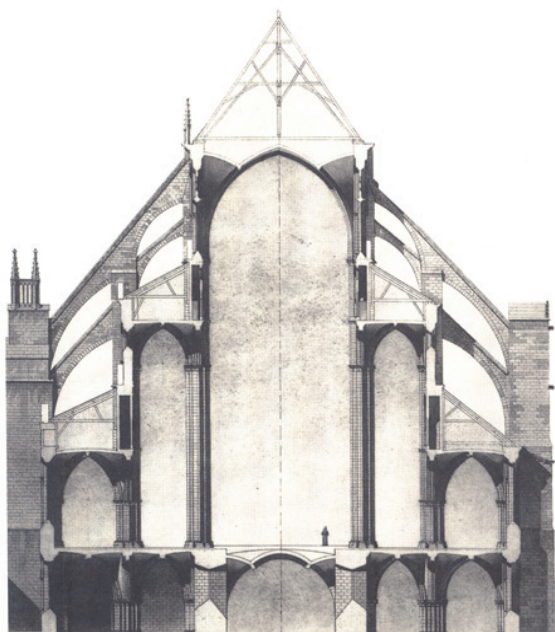


Fig. 3 : Coupe transversale du chœur avec à droite l'état restitué avant les restaurations du XIX<sup>e</sup> s. (Paul Boeswillwald, 1889, Médiathèque du Patrimoine).

construites après l'achèvement de la nef. En effet, on observe sur les seuls arcs-boutants conservés intacts du XIII<sup>e</sup> s., au nord de l'abside, que l'arc inférieur de la première volée, destiné aux poussées des voûtes, a été rajouté sur la culée intermédiaire, sous l'arc supérieur qui sert à contreventer le mur gouttereau, ce qui incite à penser que la pose des voûtes et leur contrebutement seraient intervenus dans un second temps (FERAUGE, MIGNEREY 1996 : 142).

L'achèvement du chœur semble attesté par une charte de 1214 qui établit des règlements sur la discipline liturgique stipulant, entre autres, que lorsque l'on chantera les heures canoniales dans le chœur, on ne chantera pas à note dans le "circuit" du chœur et, lorsque l'on chantera la grand-messe dans le chœur, on ne fera aucune célébration dans le "circuit"<sup>9</sup>, prouvant ainsi qu'au plus tard en 1214 des offices étaient célébrés dans le chœur et aussi dans le déambulatoire.

Le culte qui occupait provisoirement l'ancienne nef romane aurait dès lors été transféré dans le nouveau chœur gothique. Les déblais de la nef auraient

alors servi à établir le sol gothique à plus de 3 m au-dessus de l'ancien sol roman, lors de la pose des fondations des piles sur plus de 8 m de profondeur.

La nef aurait été construite par assises horizontales en élevant le mur extérieur, les piles et les culées en même temps. Les anciens portails romans ont été remontés assez tôt au nord comme au sud dans la sixième travée pour servir d'accès au chœur. R. Branner place le début de la construction de la nef en 1225 et son achèvement en 1250-1255, plus tardivement que la proposition de J.-Y. Ribault qui considère l'achèvement du gros œuvre vers 1230.

Deux chaînages métalliques raidissent longitudinalement les parties hautes de la nef depuis la 8<sup>e</sup> pile jusqu'aux tours de façade<sup>10</sup>. Le premier traverse les baies hautes au-dessus des chapiteaux, à la naissance du réseau, et semble destiné à contenir les poussées de l'arc de la baie. Le deuxième est situé dans le comble et a été repéré à l'aide d'un détecteur de métaux à l'intérieur des murs gouttereaux nord et sud, sur toute leur longueur, à 90 cm au-dessus des sablières. Il est présent également dans le chœur mais à 50 cm au-dessus des sablières.

L'ensemble des voûtes sexpartites de la nef et du chœur aurait, selon M. Ferauge et P. Mignerey, été réalisé lors de l'achèvement de la nef et aussi des voûtes des tours de façade puisqu'elles se contrebutent mutuellement. La tour nord n'aurait jamais été achevée d'après R. Branner ; pourtant, une représentation de la cathédrale dans une miniature des frères Limbourg en 1416 montre bien une tour de même hauteur que la tour sud (Fig. 6). S'agit-il d'une extrapolation de l'artiste réalisée par souci de symétrie ou cette construction a-t-elle vraiment existé ?

Rapidement, la tour sud montra des signes d'instabilité, justifiant l'obstruction de toutes ses baies, excepté celles du dernier étage. Pour la contrebuter, une tour annexe, dite pilier butant, a été érigée au début du XIV<sup>e</sup> s., pour laquelle Philippe le Bel octroya 40 livres tournois en 1313<sup>11</sup>. Vraisemblablement peu après l'achèvement de ce pilier butant, l'archevêque Guillaume de Brosse procéda à la consécration de la cathédrale le 5 mai 1324.

9. *Quamdiu hore cantantur in choro, non cantatur in circuitu chori cum nota ; item cum cantatur majora missa in choro, nullo modo celebratur in circuito nec post majorem missam...* (Premier cartulaire, Bnf, départements des manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f. 56 r<sup>o</sup>-v<sup>o</sup> et ff. 64 v<sup>o</sup>-65 r<sup>o</sup>, publié par Martène et Durand 1724, t. VII coll. 1422-1423).

10. FERAUGE, MIGNEREY 1996 : 129-148. D'après ces auteurs, des encastrements relevés à la naissance des arcs de décharge du triforium haut seraient liés un chaînage disparu mais, d'après nous, ces traces correspondraient à l'emprise d'un cintre de chantier. Il subsiste d'ailleurs les couchis en bois d'origine, supportés par ces cintres, dans plusieurs travées au nord.

11. *Second cartulaire*, Bnf, départements des manuscrits, nouv. acq. lat. 1274, f. R8v<sup>o</sup> (publié par RAYNAL 1844 : 368-369).





Fig. 4 : Façade sud de la cathédrale (Montage photographique, Wagner51Wikimedia Commons).

Peu avant, sans doute, on avait reconstruit la grande rose occidentale, dénommée “le grand housseau”.

Au cours du <sup>xv</sup><sup>e</sup> s., plusieurs chapelles furent reconstruites et, à la fin de ce siècle, un étage supplémentaire fut rajouté à la tour nord qui, trop instable, s’effondra le 31 décembre 1506, ruinant les premières travées de la nef. Sa reconstruction ne fut achevée que vers 1542, accompagnée d’une restauration des portails occidentaux nord de saint Guillaume et de la Vierge (HAMON 1999). C’est vers la fin de ce vaste chantier, entre 1540 et 1542, que le maître d’œuvre entreprit de remplacer la flèche du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> s. située entre le chœur et la nef.

Durant la seconde moitié du <sup>xvi</sup><sup>e</sup> s., la cathédrale connut deux événements dramatiques. Le 16 mai 1559, à cause de brandons provenant d’une maison enflammée rue Bourbonnoux, les combles des collatéraux nord et sud prirent feu et furent en grande partie détruits, sans que les grandes toitures soient touchées<sup>12</sup>. Et à partir du 27 mai 1562, pendant plusieurs jours, les troupes du chef protestant Gabriel de Montgomery pillèrent la cathédrale, saccageant les autels, les statues du portail occidental et les sculptures du jubé. Seul le jubé bénéficia d’une réparation au plâtre et d’une rénovation des peintures

12. Le collatéral extérieur fut détruit depuis la tour nord jusqu’au portail latéral sud, et le collatéral intérieur depuis la tour nord jusqu’au portail latéral nord (MARGUERIE 1889-1890 : 177-228).



Fig. 5 : Élévation nord, face à la 8<sup>e</sup> pile, au droit de l’arrêt de chantier entre le chœur à droite et la nef à gauche (Cl. F. Epaud).



Fig. 6 : Frères LIMBOURG. Adoration des Mages, 1416, miniature enluminée, Très Riches Heures du Duc de Berry, folio 52, Chantilly, Musée Condé.

au milieu du <sup>xvii</sup>e s., avant d'être détruit en 1758-1767 lors du réaménagement du chœur.

Ce n'est qu'à partir du milieu du <sup>xviii</sup>e s. que de nouveaux travaux importants furent entrepris. Entre 1747 et 1754, le faux-transept et la flèche qui le surmontait furent supprimés en raison de leur vétusté. Ils furent remplacés par une toiture faisant la jonction entre celles du chœur et de la nef.

Tout au long du <sup>xix</sup>e s., la cathédrale subit de nombreuses restaurations dont certaines modifièrent son aspect extérieur, comme l'adjonction d'une balustrade avec pinacles à la base du grand comble, vers 1829-1830, et le rajout de clochetons et de pinacles sur les culées des arcs-boutants, entre 1840 et 1848, par les architectes Pagot et Juillien (Fig. 3). De 1882 à 1887, les grandes charpentes furent restaurées et quelque peu modifiées avant la pose d'une couverture en ardoise à crochet par l'architecte Boeswilwald. Enfin, au <sup>xx</sup>e s., plusieurs chantiers touchèrent entre autres le "grand houteau" (1906-1911), les statues de la tour nord (1968-1974) et le portail Saint-Ursin (1974-1975). Depuis 1999, les travaux de rénovation portent sur les portails latéraux et occidentaux en parallèle, depuis 2010, à la restauration des charpentes du grand comble, sous la direction de l'ACMH P. Ponsot.

## 2. LA CHARPENTE DES GRANDS COMBLES : PRÉSENTATION

### Présentation des structures

La charpente comprend quatre parties (Fig. 7) :

- la première partie, à l'ouest, couvre la demi-travée de la première voûte sexpartite, de la ferme F1 à F15. Elle correspond à une reconstruction de 1882, réalisée à l'image de la charpente à chevrons-formant-fermes gothique. Elle possède quelques réemplois du <sup>xiii</sup>e s. de la charpente d'origine ;
- la seconde partie, objet de cette étude, débute à 8 m du pignon occidental et couvre le vaisseau sur 33 m de long jusqu'au bout de la troisième voûte sexpartite, de F16 à F67 (Fig. 8). Il s'agit d'une structure à chevrons-formant-fermes subdivisée en 10 travées ;
- la troisième partie (non étudiée), en vert, fait la jonction entre la nef et le chœur. Mise en place en 1747, cette charpente à fermes et pannes comporte 6 fermes à portique ;



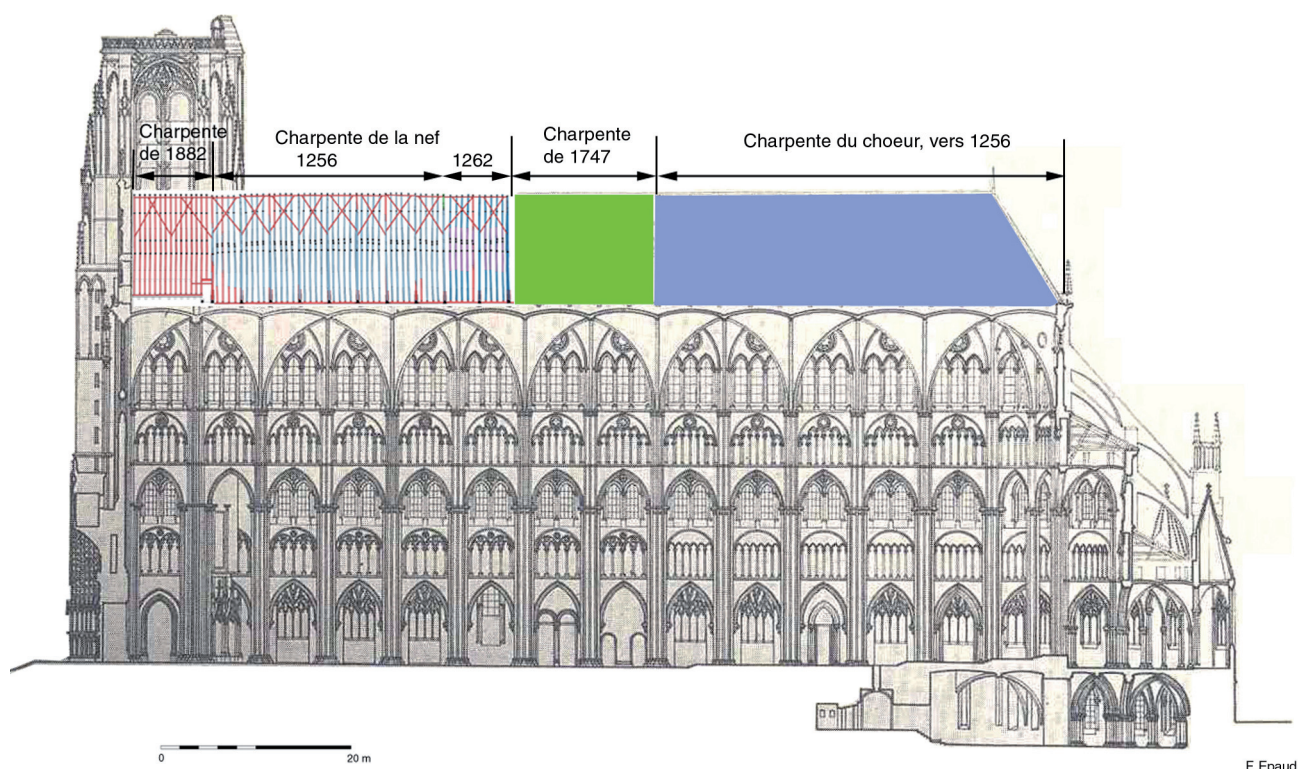


Fig. 7 : Schéma de répartition des charpentes sur le grand comble (d'après dessin DESMARET 1943).

- la quatrième partie (non étudiée), en bleu, couvre le chœur jusqu'à sa croupe absidiale. Elle est à chevrons-formant-fermes et présente une structure similaire à celle de la nef.

#### Les campagnes d'analyses dendrochronologiques

Quatre campagnes d'analyses dendrochronologiques ont été réalisées sur les grands combles de la cathédrale. La première, faite en 1998 par le laboratoire Archéolabs sur la charpente du chœur et l'abside, portait sur 22 échantillons dont deux seulement ont pu fournir une date d'abattage, au printemps 1256 et en automne-hiver 1256-1257<sup>13</sup>. La seconde campagne, menée en 1999 par le même laboratoire sur la nef, n'a porté que sur quatre prélèvements dont un seul a donné une date d'abattage au printemps 1254<sup>14</sup>. Devant l'inefficacité de telles

analyses<sup>15</sup>, une nouvelle campagne a été réalisée par le laboratoire CEDRE en 2008. 35 échantillons supplémentaires ont permis de préciser les datations mais toujours avec des difficultés d'interprétations liées, là aussi, au protocole de prélèvement, notamment l'absence de prélèvement systématique du cambium. Ainsi, pour la charpente du chœur et de l'abside, seulement deux échantillons ont fourni une date d'abattage en automne-hiver 1255-1256 et en automne-hiver 1256-1257, semblant confirmer, dans l'attente d'une campagne complémentaire, une mise en place de la charpente du chœur vers 1256. Pour la nef, ces dernières analyses ont révélé une multitude de dates d'abattage étalées entre 1240 et 1261, justifiant une quatrième campagne de prélèvements, réalisée cette fois-ci avec un protocole rigoureux de prélèvement. Nous y reviendrons en détails ci-après.

15. Il apparaît que de telles analyses, réalisées sans cahier des charges, sans encadrement archéologique ni protocole de prélèvement (sélection des bois selon des critères archéologiques, nombre minimum de prélèvements par phase, prélèvement systématique du cambium, rendu des courbes...), sur des charpentes aussi monumentales, sont inutiles scientifiquement.

13. ARC98/R1374D/1.

14. ARC99/R1374D/2.





Fig. 8 : Charpente de la nef (Cl. F. Epaud).

Quant à la charpente moderne située sur l'ancien faux-transept (troisième partie en vert de la Fig. 7), elle est bien datée par les textes<sup>16</sup> et la dendrochronologie. Les marchés contractés entre le chapitre et les maîtres charpentiers Vincent Marsault et François Ferrand, les 31 juillet 1745 et 22 janvier 1747, prévoyaient la démolition de l'ancienne charpente du faux-transept et de la flèche et la reconstruction d'une charpente de six fermes, dont la description correspond aux parties visibles actuellement, et dont la première à l'ouest porte le millésime *JACQUE MARSALT 1747*. Cette datation est confirmée par dendrochronologie par l'abattage d'un entrain en automne-hiver 1745. Les chevrons en réemplois, datés entre 1528 et 1559d, proviennent de l'ancien faux-transept ou de la flèche dont la reconstruction est mentionnée en 1540-1542<sup>17</sup>.

Outre ces analyses, une datation isolée a été effectuée sur le beffroi de la tour sud qui atteste son

achèvement peu après 1244<sup>18</sup> (sans aubier), donc vers 1250-1260, et une autre sur des couchis conservés en place sur les voûtains du couloir nord de l'église basse, avec une date de 1206<sup>19</sup>.

La charpente de la nef : pour un nouveau protocole d'analyse dendrochronologique

La diversité des dates d'abattage avancées par Archéolabs et le CEDRE sur la charpente de la nef (51 fermes), dont la structure comporte de nombreuses anomalies, ainsi que le chantier de restauration entrepris sur cette charpente en 2010, ont motivé une quatrième campagne d'analyses, respectant cette fois-ci un protocole archéologique de prélèvement. Plusieurs exigences ont été présentées dans un cahier des charges et suivies par le laboratoire CEDRE :

16. Arch. Départ. du Cher : 8 G 402.

17. Arch. Départ. du Cher : 8 G 1068 ; 8 G 374.

18. C.E.D.R.E. Perrault C. 2010.

19. Archéolabs réf. ARC92/R11329D.

- chaque carotte doit être systématiquement complétée par un prélèvement d'aubier à l'aide d'une coupeuse électrique, dans la mesure où le cambium est conservé, afin d'obtenir, pour chaque échantillon, l'âge de l'arbre et sa saison d'abattage ;
- la localisation des prélèvements doit répondre aux questions soulevées par l'interprétation archéologique de la structure de la charpente, à l'appui de relevés précis ;
- la datation de chaque phase constructive doit être validée par plusieurs prélèvements datant.

Au-delà de la datation de la mise en œuvre de la charpente, ce protocole doit permettre de répondre aux questions sur l'approvisionnement du chantier, la gestion des campagnes d'abattage et le type d'arbres prélevés. En septembre 2010, 70 nouveaux carottages ont été pratiqués sur la charpente de la nef en complément de 19 autres réalisés sur les bois déposés lors des travaux de restauration, provenant des fourrures<sup>20</sup> des chevrons. Suivant le protocole établi, sur ces 89 nouveaux prélèvements, 75 présentent une date d'abattage à la saison près (Fig. 10 en annexe). Ces datations confirment la complexité de cette charpente avec 21 saisons d'abattage distinctes étalées sur quatre périodes pendant lesquelles des bois ont été abattus sans discontinuité, principalement en automne-hiver : 1230-1233 ; 1236-1244 ; 1253-1255 ; 1259-1262. Elles complètent les analyses précédentes du CEDRE mais contredisent certaines d'Archéolabs. Deux pics d'abattage se remarquent toutefois avec une majeure partie des arbres abattus entre 1240 et 1244 et en automne-hiver 1254-1255, témoignant de deux grandes campagnes de coupe qui ne correspondent pas nécessairement aux phases de mise en place de la charpente.

#### Les restaurations du <sup>xix</sup>e s. de la charpente de la nef

Jusqu'à la fin du <sup>xix</sup>e s., la charpente gothique n'a connu presque aucune réfection à l'exception d'une perturbation du chevronnage du versant sud entre F20 et F23 : une traverse a été assemblée entre ces chevrons par une très longue mortaise destinée à son insertion en bascule et bloquée par une cale. Ces deux longues mortaises, situées en dessous des assemblages actuels de la traverse, prouvent que celle-ci a été introduite du bas vers le haut, ce qui

suppose le démontage des parties inférieures des chevrons de F21 et F22. Les parties inférieures et supérieures des chevrons de F21 et F22 s'y assemblent par tenon-mortaise. Deux entailles à mi-bois, pratiquées sur la traverse en face externe, témoignent que les parties inférieures des deux chevrons intermédiaires ont été provisoirement décalées pour libérer un espace de 75 cm de large, puis replacées à leur emplacement d'origine. En l'absence d'aubier, la traverse est postérieure à 1309, tandis que le chevron sud de F22 est daté de 1334. Cet aménagement aurait donc été réalisé en 1334 pour pratiquer une ouverture dans la toiture afin d'y introduire ou d'y extraire des éléments dont nous n'avons aucune connaissance.

Vers 1835, l'architecte Pagot entreprit de rajouter, à la base de la grande toiture, une balustrade et des pinacles, comme sur les culées des arcs-boutants, dans le style néo-gothique (Fig. 3). Cette création du <sup>xix</sup>e s. a entraîné la suppression des anciens chéneaux du <sup>xiii</sup>e s. dont deux éléments ont toutefois été réemployés dans le gouttereau sud sous les sablières de la charpente du <sup>xviii</sup>e s. (Fig. 9). Au <sup>xiii</sup>e s., les eaux étaient collectées par une gouttière de 57 cm de large, profonde seulement de 7 cm, taillée dans l'épaisseur de la corniche, pour être certainement évacuée par des tuyaux de descente ou des gargouilles.

L'évacuation des eaux par le nouveau chéneau ne fut vraisemblablement pas efficace, provoquant des infiltrations et le pourrissement des pieds de la charpente<sup>21</sup>. En effet, cinquante ans plus tard, en 1882, lors du grand chantier de restauration de la charpente, l'architecte Paul Boeswilwald entreprit de l'amputer de ses pieds sur 40 cm de haut pour y placer une corniche en pierre de façon à l'isoler du fond du chéneau. Toutes les sablières furent alors refaites à neuf, de même que les blochets qui furent remplacés chacun par deux moises boulonnées. Le pied des chevrons et des jambes de force fut donc raccourci de plusieurs dizaines de centimètres, supprimant également la plupart des marques d'assemblage qui y étaient inscrites.

Ces travaux entraînèrent le rehaussement de tous les entrails dont la plupart furent également amputés d'une partie ou bien renforcés aux extrémités

20. Comblement avec des bois de l'espace induit par le fléchissement du chevron afin d'obtenir un versant droit.

21. Arch. Départ. Cher : J 210. "Deuxièmement : lors de l'enlèvement des plombs des noues du comble de la grande nef, on a constaté que tous les pieds des arbalétriers et des chevrons portant fermes étaient pourris. Il a fallu à chaque instant étayer et faire des réparations assez considérables." Mémoire du charpentier Gatinet, mai 1852. Cité dans PONSOT 2007.





Fig. 9 : Chéneau du XIII<sup>e</sup> s. réemployé dans le gouttereau sud (Cl. F. Epaud).

par des moises et des coffrages<sup>22</sup>. Afin de suspendre chacun de ces entrails au poinçon, dont le bout inférieur avait également été raccourci, des étriers métalliques, associés à des pièces intermédiaires, ont été rapportés.

Lors de ce vaste chantier de restauration de 1882-1887, le contreventement longitudinal du XIII<sup>e</sup> s. fut entièrement démonté. Il avait pourtant été consolidé quelques décennies plus tôt par des boulonnages comme en témoignent les traces d'oxydation des rondelles métalliques sur les poinçons au droit des assemblages avec ce contreventement. Ce type de boulonnage s'observe également sur la plupart des assemblages de la charpente. Un nouveau contreventement fut alors mis en place, plus léger, constitué d'un faîtage et de deux grands liens en croix de Saint-André par travée, assemblés en tête au faîtage et en pied aux poinçons.

Boeswilwald reconstruisit entièrement la charpente située entre les deux tours occidentales, avec

quelques réemplois d'éléments provenant de la charpente du XIII<sup>e</sup> s. Celle-ci fut donc préservée en partie lors de l'effondrement et la reconstruction de la tour nord (1506-1536). Boeswilwald refit une charpente à chevrons-formant-fermes à l'image de celle du XIII<sup>e</sup> s., dans l'esprit des restitutions néo-gothiques réalisées vers 1835 sur les extérieurs de la cathédrale.

Les nouveaux versants de cette charpente étaient droits, contrairement au chevronnage du reste de la nef qui accusait un fléchissement très prononcé. Pour redonner une pente droite aux versants de la nef et la raccorder à ceux de la toiture occidentale, Boeswilwald mit en place un dispositif très ingénieux. Il cloua sur les flancs des chevrons des longues planches épaisses, mises bout à bout par des jointures horizontales et dont la bordure extérieure définissait le rampant de la toiture (Fig. 25). Ces planches, prenant en moise chaque chevron, permettaient ainsi de contenir leur flexion grâce à leurs jointures autobloquantes. Entre ces moises, les charpentiers ont placé des fourrures qui sont essentiellement des réemplois

22. Les entrails réemployés de F21 et F26 ont été retournés.

	Pièces	Section (cm)		Longueur (m)
		Pied	Tête	
<b>Ferme secondaire</b>	Chevron	15 x 15	11,5 x 11	13,8
	Echarpe	15 x 15	11,5 x 11	8,5
	Entrait retroussé	14 x 15,5		7,3
	Faux entrain	11,5 x 12,5		2,4
	Jambe de force	15 x 13,5		1,8
	Blochet	15 x 15		1
<b>Ferme principale</b>	Chevron	15 x 15	11,5 x 11	13,8
	1 <sup>er</sup> faux entrain	13,5 x 16		7,3
	2 <sup>nd</sup> faux entrain	11,5 x 12,5		2,4
	Aisselier	12 x 13		3,9
	Contrefiche	14 x 13,5		2,2
	Entrain	20 x 19	23 x 23 *	14,7
	Poinçon	15 x 15	14 x 15	11,6
<b>pièces longitudinales</b>	Liernes inf.	16 x 14		3,3
	Liernes sup.	12 x 13		3,1
	Echarpes	12 x 14	12 x 10	6,5 et 5,9
	Contreventement des chevrons	14 x 9		12
	Sablières	17 x (15)		(12)

\* : section prise au milieu de l'entrain.

Fig. 11 : Tableau des sections et des longueurs de bois de la charpente de la nef.

d'éléments médiévaux démontés puis débités à la scie. Parmi ces bois, de nombreuses pièces du contreventement du XIII<sup>e</sup> s. et des éléments des premières fermes occidentales ont été reconnus. Ils ont fait l'objet d'une dépose systématique lors des travaux de restauration, de relevés et de datations dendrochronologiques (Fig. 10 en annexe).

### 3. LES BOIS

#### Morphologie des bois

Tous les éléments d'origine sont taillés dans du chêne, en bois de brin, c'est-à-dire avec le cœur de l'arbre conservé dans chaque pièce. On note que les chevrons présentent de nombreuses courbures naturelles qui sont à relativiser eu égard à leur grande longueur (13,80 m pour les fermes secondaires restituées). La plupart de ces courbures ont été corrigées par un équarrissage forcé, parfois jusqu'à atteindre le cœur du bois afin d'obtenir une pièce la plus droite possible. À ces courbures s'ajoutent parfois un fil tors<sup>23</sup> pour nombre de ces bois. Enfin, on

note que tous les bois comprennent de nombreux flaches<sup>24</sup>, ce qui suppose que le diamètre des arbres abattus correspondait de très près aux sections recherchées.

En dépit de ces courbures et de leur torsion, on constate que les sections des bois, qui n'ont pas eu un équarrissage forcé, sont très homogènes par type de pièce (Fig. 11). Cette homogénéité, notamment pour la centaine de chevrons d'origine, est tout à fait remarquable avec une moyenne de 15 x 15 cm en pied et de 11,5 x 11 cm en tête, et un faible écart type, pour une longueur restituée de 13,80 m<sup>25</sup>. Il en va de même pour la moyenne des sections de la plupart des autres pièces, avec un écart type relativement faible de 0,9 cm.

Au droit des assemblages, les sections des différentes pièces se correspondent et ne présentent que très rarement un débordement de leur face. Si les chevrons ont une section approximativement carrée du pied jusqu'à leur tête, ses raidisseurs présentent

24. Arrondi d'une arête provenant d'un tronc non corrigé à l'équarrissage.

25. Pour les sections, la première valeur correspond à la largeur, face interne, la seconde à l'épaisseur, face latérale ouest ou est de la pièce. Pour la longueur des pièces, les assemblages sont pris en compte.

23. Fibres qui montent en spirale autour d'un axe central.

Structure	Pièces	Grumes	Longueur (m) de la grume	Diamètre (cm) de la grume
<b>1 ferme secondaire</b>	2 chevrons	2	13,8	22
	1 blochet + 1 écharpe + 1 faux entrain	1	11,9	22
	1 blochet + 1 écharpe	1	9,5	22
	2 jambes de force + 1 entrain retourné	1	10,9	22
<b>1 ferme principale</b>	2 chevrons	2	13,8	22
	1 <sup>er</sup> faux entrain + 1 aisselier	1	11,2	22
	1 jambe de force + 2 contrefiches + 1 aisselier + 1 2 <sup>nd</sup> faux entrain	1	12,3	22
	1 poinçon + 1 jambe de force	1	13,4	25
	1 entrain	1	14,7	34
<b>Pièces longitudinales pour 2 travées</b>	2 liernes inf. + 2 liernes sup.	1	12,8	22
	4 écharpes	2	12,4	22
	sablières	2	12	22
	Contreventement des chevrons	2	12	22

\* : estimations pour deux travées.

Fig. 12 : Tableau des évaluations des quantités et des mesures de grumes de la charpente de la nef.

une section rectangulaire disposée de chant, c'est-à-dire avec une épaisseur (face verticale) plus grande que la largeur, pour mieux résister à la flexion. Il faut noter l'épaisseur particulièrement importante des entrains retournés des fermes secondaires (15,5 cm) et des premiers faux entrains des fermes principales (16 cm) qui s'explique par les contraintes cumulées de la flexion des chevrons et des écharpes, pour les premiers, et des contrefiches pour les seconds.

#### Mode de débitage et d'équarrissage

La correspondance assez proche des sections des divers types de pièce permet de proposer une restitution du débitage des grumes (Fig. 12). Il s'agit de reconstituer, en mettant bout à bout les différents types de pièces, tout en faisant concorder leur section, la grume de laquelle ils sont issus. On peut considérer que les grumes les plus longues exploitées pour cette charpente correspondent à celles utilisées pour les chevrons, de 13,80 m, avec les sections les plus fortes au pied de l'arbre. Ces valeurs cumulées aboutissent à une longueur estimée de grume qui ne tient pas compte des chutes liées aux courbes trop prononcées et aux nœuds. Il s'agit donc d'une longueur minimale à laquelle il faudrait rajouter 1 à 2 m, à l'exception bien sûr des grumes pour les chevrons dont les extrémités sont trop faibles pour être plus longues. Il est fort possible que des branches aient pu servir aussi pour des

courtes pièces comme les blochets ou des jambes de force. On peut donc envisager des grumes entre 13 et 14 m de long pour ces pièces.

Pour toutes les grumes destinées aux fermes secondaires et principales, à l'exception de celles du poinçon et de l'entrain, on estime un diamètre de l'arbre, à sa base hors souche, de 22 cm en moyenne. En effet, les plus fortes sections des pièces, de l'ordre de 17 x 15 cm, situées en pied de chevrons, d'écharpes ou de jambes de force, comportent systématiquement de l'aubier aux arêtes et on peut dès lors supposer que le diamètre de la grume correspond à la diagonale de la section rectangulaire.

Plusieurs poinçons<sup>26</sup> ont été taillés dans un bois de trop forte section et leur moitié inférieure a été équarrie à force jusqu'au cœur afin d'alléger le poinçon et conserver une section forte en partie médiane. D'après les mesures du milieu de ces pièces, on en déduit un diamètre en pied de 25 cm. Il en est de même pour les entrains qui ont tous une section médiane plus forte qu'aux extrémités. Là aussi, l'équarrissage a été forcé sur une moitié pour l'alléger et conserver une partie centrale avec suffisamment de fibres pour travailler convenablement à la traction exercée par l'assemblage du poinçon<sup>27</sup>. D'après la section médiane, on estime un diamètre en pied de grume de

26. F56, F62 et F67.

27. Ce type d'équarrissage pour les entrains s'observe aussi au bras nord de la cathédrale de Lisieux (1192-1202) (EPAUD 2007 : 369).

Mesure des grumes consommées (diamètre au pied et longueur)	Pièces	Quantité de grumes consommées	Proportion
22 cm / 13-14 m	Chevrans, raidisseurs et pièces longitudinales	354	93 %
25 cm / 13-14 m	Poinçons	13	3,5 %
34 cm / 15 m minimum	Entraîts	13	3,5 %
		Total : 380	100 %

Fig. 13 : Tableau de la consommation de grumes de la charpente gothique de la nef.

34 cm pour une longueur qui dépassait largement les 15 m puisqu'en tête de l'entrait, le diamètre estimé est de 28 cm, ce qui suppose encore plusieurs mètres de fût exploitables.

#### Consommation en bois d'œuvre

Pour l'exécution d'une ferme secondaire, on comptabilise, d'après les données précédentes, 5 grumes de 22 cm de diamètre en pied, hors souche. Pour une ferme principale, on estime une consommation de 4 grumes de 22 cm de diamètre en pied, une grume de 25 cm de diamètre et une dernière de 34 cm. Pour deux travées, on compte 3 grumes de 22 cm pour le dispositif longitudinal, deux autres pour le contreventement des chevrons (couvrant en fait trois travées) et deux autres pour les sablières. Par conséquent, pour la charpente médiévale, telle qu'elle se présentait avant les restaurations du XIX<sup>e</sup> s., avec son dispositif longitudinal, entre le pignon occidental et la 67<sup>e</sup> ferme actuelle, et en restituant donc deux travées de charpente démontées au XIX<sup>e</sup> s., identiques aux suivantes d'après ses réemplois, on estime une consommation de 354 grumes de 22 cm de diamètre en pied et de 13 à 14 m de long, 13 grumes de 25 cm de diamètre et de même longueur, et 13 grumes de 34 cm de diamètre en pied et de 15 m minimum, soit en tout 380 arbres<sup>28</sup> (Fig. 13). On note donc que la très grande majorité (93 %) des arbres abattus était de faible diamètre contre une minorité de fort diamètre (3,5 %).

#### Mode d'exploitation forestière

La hauteur de ces arbres est tout à fait remarquable avec une longueur de fût exploitable de 13 à 14 m, et

une minceur tout aussi exceptionnelle eu égard aux chênes des forêts actuelles. Cette grande proportion de bois de faible diamètre, destinés à alimenter les besoins en pièces de section analogue, suppose un approvisionnement dans une futaie régulière, uniforme et homogène, au sein de laquelle tous les arbres ont plus ou moins le même âge. Il est en effet improbable qu'une forêt hétérogène et mélangée, gérée en taillis sous futaie ou en futaie jardinée, et dans laquelle se développent plusieurs générations d'arbres d'âges différents, puisse produire autant de bois homogènes, aussi hauts et d'also faible diamètre. Seule la coupe blanche d'une vaste surface, c'est-à-dire l'abattage de la totalité des arbres de la parcelle, favorise, par régénération naturelle, la mise en concurrence d'arbres très jeunes et la production d'une futaie équienn<sup>29</sup> et monospécifique de chênes élancés, minces, sans nœud et de grande longueur pour une maturité précoce. Leur croissance rapide vers le haut, et non en diamètre, est en effet mise à contribution par un peuplement dense et homogène, dans lequel la lumière ne pénètre pas, favorisant aussi l'absence de départ de branche et de nœud sur le fût. La coupe rase est un mode de gestion sylvicole qui présente aussi des avantages pratiques et financiers par rapport à la gestion en futaie jardinée, puisqu'elle facilite la rationalisation des opérations d'abattage et de débardage des bois, réduit le temps d'exécution de ces travaux et, bien sûr, favorise les travaux d'entretien des sols pour un reboisement naturel en vue d'une futaie régulière monospécifique. En Indre-et-Loire, plusieurs textes du XIII<sup>e</sup> s. mentionnent l'interdiction du pâturage et la clôture de la parcelle après la coupe, afin de protéger la régénération du taillis pendant 2 à 5 ans (JACQUET 2003 : 418).

Ce mode d'exploitation par coupe rase est attesté au XIII<sup>e</sup> s. dans les forêts royales franciliennes et en Touraine, pour l'approvisionnement du chantier de la cathédrale de Tours : un acte daté de 1279

28. En rapportant ce calcul à la longueur totale du vaisseau, nef et chœur compris, on obtient une consommation de 900 grumes, dans les mêmes proportions.

29. Forêt composée d'arbres adultes de même âge.



mentionne la coupe à blanc de 34 arpents de forêts et l'enlèvement de la totalité des bois en cinq ans et demi pour l'édification des charpentes du transept, datées par dendrochronologie de cette période (JACQUET 2003 : 378 et ANDRAULT-SCHMITT 2010 : 98). Ces exploitations par des coupes rases sont également attestées au XIII<sup>e</sup> s. en Normandie pour des grands chantiers de charpenterie (EPAUD 2007 : 9-33).

Pour la nef de la cathédrale de Bourges, d'après les analyses dendrochronologiques, les bois proviennent de différentes coupes étalées sur plusieurs années, entre 1230 et 1256 (pour la première campagne), avec pour nombre d'entre eux d'importantes différences d'âge malgré des sections identiques. En regroupant ces bois par année d'abattage, quand l'échantillonnage est suffisant, on constate que certains lots ont une moyenne d'âge homogène comme pour les bois abattus en automne-hiver 1243-1244 dont la moyenne d'âge est de 53 ans avec un écart type de 5 ans seulement, ceux abattus en automne-hiver 1254-1255, d'un âge moyen de 50 ans ou ceux coupés en automne-hiver 1238-1239, de 85 ans en moyenne. Pour d'autres lots, comme ceux abattus en 1242, on distingue bien deux ensembles avec un premier lot d'arbres de 48 ans environ et un second avec des arbres âgés de 98 ans en moyenne. Les autres ensembles d'arbres n'ont pas d'effectifs suffisants pour être représentatifs. On suppose donc que ces abattages ont été effectués, selon les années, dans différentes parcelles et que celles-ci étaient des futaies homogènes équiennes<sup>30</sup>. Cependant, il est difficile de savoir si ces bois ont été abattus par une coupe blanche, sur une parcelle réduite, ou par furetage en sélectionnant sur pied des sujets au sein de la futaie.

#### 4. LE PLAN DE LA CHARPENTE

La charpente comprend deux ensembles distincts : le premier, de F16 à F56, et le second, de F57 à F67. Plusieurs caractères permettent de les différencier : la structure des fermes secondaires, le marquage, le contreventement dans le plan des chevrons, la section de certains bois, la présence dans le second ensemble de bois de réemploi et, enfin, les analyses dendrochronologiques. Ces dernières mettent en évidence deux campagnes de mise en œuvre : une première en 1256 qui correspond au *terminus post quem* (1255 BF) des dates d'abattage pour les bois de F16-F56, correspondant aux éléments encore

en place de la charpente primitive, et une seconde en 1262 (1262 BI), qui définit une reprise de la charpente d'origine (1256) entre F57 et F67 (Fig. 14).

En dépit du remaniement de la base de la charpente, la position des fermes n'a pas été modifiée, même si les valeurs précises d'entraxe ne sont plus celles d'origine, à quelques centimètres près. La charpente (F16-F67) est subdivisée en dix courtes travées de quatre fermes secondaires chacune, à l'exception de la 9<sup>e</sup> travée (F56-F62) composée de cinq fermes secondaires. Ces travées ne s'articulent pas avec la trame des voûtes sexpartites et ne prennent pas en compte la structure des maçonneries qui comporte des zones faibles au niveau des baies et des points forts au niveau des piles, pour établir une répartition des charges cohérente avec les supports. Les raisons tiennent au fait que, d'une part, des travées de charpente de 7 m de long, adaptées aux piles, auraient généré de trop fortes poussées latérales au niveau des baies et que, d'autre part, le poids des fermes principales n'est pas si excessif par rapport à celui des fermes secondaires. Ces fermes principales servent à limiter l'écartement de la base de la charpente qui résulte des poussées latérales des fermes secondaires. De ce fait, le maître charpentier a limité la longueur des travées afin de réduire le nombre de fermes secondaires et donc leurs poussées latérales sur les murs. Ces pressions latérales sont d'autant plus grandes que les fermes secondaires sont hautes, faiblement pentues et susceptibles de se fléchir. Ces travées courtes, de 3,20 m en moyenne<sup>31</sup>, assurent donc un bon maintien des fermes secondaires en limitant au minimum leurs poussées latérales et donc la déformation des murs sous-jacents.

La présence d'un chaînage métallique dans ces murs, sur tout le long du vaisseau principal, à 90 cm sous les sablières, permet précisément de raidir les maçonneries au niveau de l'ancrage des voûtes et de l'extrados des baies, et d'interférer avec d'éventuelles poussées par les fermes.

Les entrevous<sup>32</sup> des fermes sont irréguliers et varient de 43 cm à 54 cm avec une moyenne de 47,9 cm, pour un écart type de 4 cm, ce qui revient à un entraxe moyen de 63,1 cm, soit deux pieds de 31,5 cm. Ces variations sont peut-être dues aux réparations du XIX<sup>e</sup> s. mais il est probable, comme les fermes sont difficiles à déplacer, qu'elles trahissent une irrégularité d'origine, ce qui est fréquent au XIII<sup>e</sup> s.

30. Forêt issue d'une coupe blanche où les arbres, de même âge, poussent en mode concurrentiel en hauteur vers la lumière.

31. Avec une perturbation dans les deux dernières travées orientales (9<sup>e</sup> travée : 3,84 m ; 10<sup>e</sup> travée : 3,14 m), liée au remaniement de la charpente en 1262.

32. Espacement de flanc de chevron à flanc de chevron.

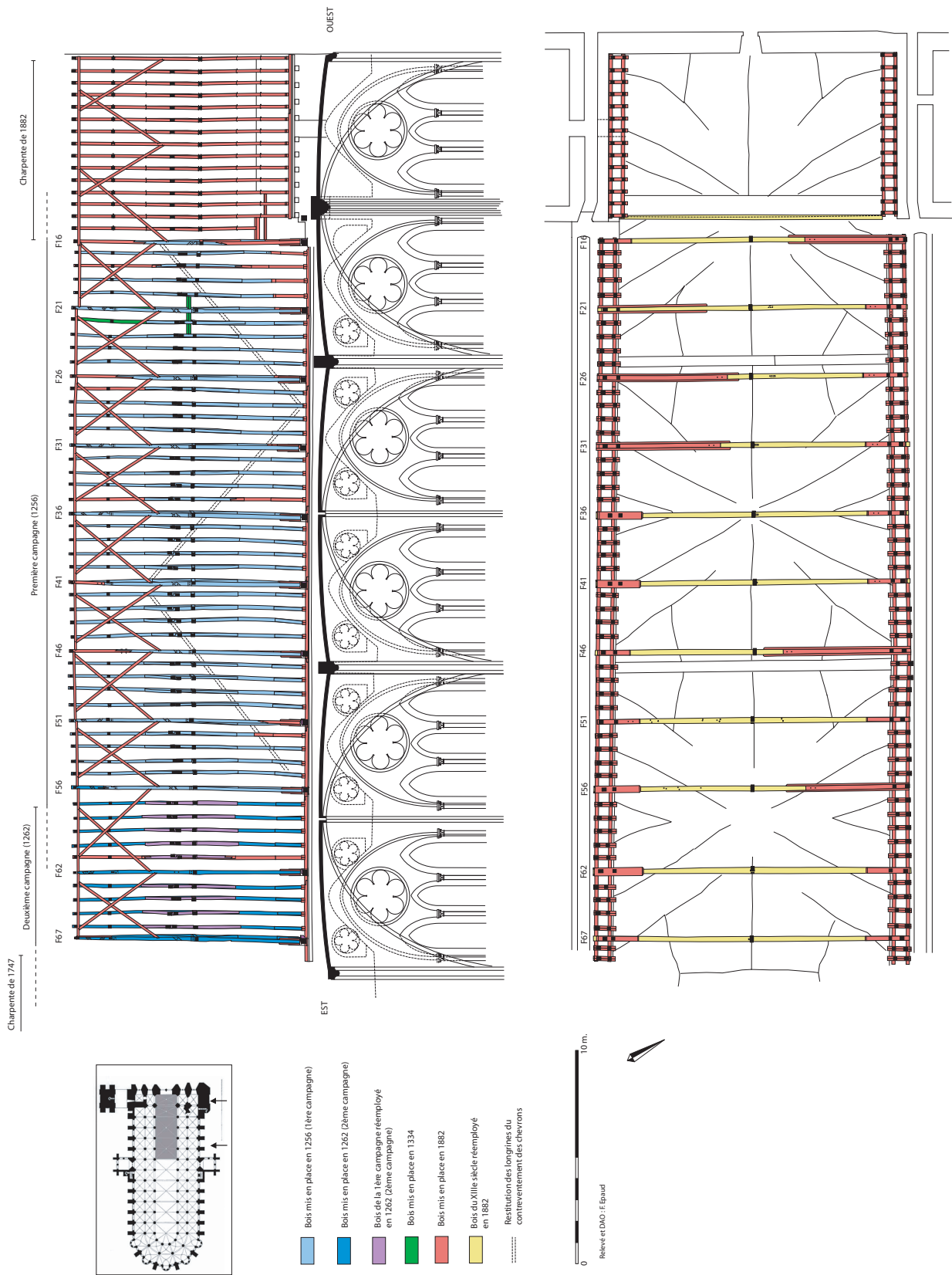


Fig. 14 : Coupe longitudinale axiale est-ouest, vue du nord, et plan au niveau des entrails, sans les moises du xix<sup>e</sup> s., de la charpente de la nef (relevé et DAO : F. Epaud).



## 5. LES FERMES PRINCIPALES

Ces fermes (Fig. 15), dans leur état restitué, ont une hauteur de 11,80 m depuis l'arasement des murs pour une largeur totale de 14,70 m. Les fermes principales du premier et du second ensemble sont relativement semblables à l'exception de la disposition du premier faux entrait et de la section du poinçon qui trahissent bien deux chantiers distincts, ce que confirment les datations dendrochronologiques.

Les fermes principales du premier ensemble, de F16 à F56 (1256) (Fig. 16)

Les neuf fermes principales de cet ensemble, restituées avec leur pied à 40 cm plus bas (Fig. 17), sont constituées d'un entrait principal, de 13 m de portée, d'un couple de chevrons raidis par deux faux entrails, un couple de jambes de force, deux aisseliers et deux contrefiches qui s'assemblent dans le faux entrait. Les aisseliers comme la tête des jambes de force sont tenonnés aux chevrons et à l'entrait retroussé par tenon-mortaise avec embrèvement, pour mieux travailler en butée. Un poinçon de fond, de 11,50 m de hauteur, est assemblé en tête sur ses flancs aux chevrons, puis par mi-bois aux deux faux entrails. En pied, le poinçon présente un tenon taillé en demi-queue d'aronde qui vient s'insérer dans une longue mortaise, taillée selon un profil inverse, et bloquée, après insertion du tenon, par une cale en bois appelée rossignol. Ce tenon permet de suspendre l'entrait à la manière d'un crochet. En effet, le poinçon est suspendu en tête, grâce à la pression qu'exercent les chevrons sur ses flancs, et par les deux faux entrails. Dès la pose de la couverture et la mise en flexion des chevrons, ces derniers mettent en tension le poinçon qui peut, dès lors, recevoir des charges. Le poinçon, maintenu par les deux faux-entrails, est donc suspendu et ne travaille pas en compression vers le bas. Il peut dès lors suspendre l'entrait grâce à un tenon en forme de demi-queue d'aronde, et empêcher ainsi l'entrait de fléchir sous son propre poids. Ce système de circulation des charges est appelé "triangulation".

Les poinçons ont une section plus forte en partie médiane qu'en pied. Sachant que son bois a été orienté le pied en bas, l'équarrissage a été forcé sur la moitié inférieure pour alléger le poinçon et conserver suffisamment de fibres en partie médiane pour garantir la bonne tenue de l'assemblage du faux entrait. Il en est de même pour ce dernier dont la partie médiane a une plus forte section que les extrémités. L'équar-



Fig. 15 : Parties hautes des fermes de la nef (Cl. F. Epaud).

rissage a été forcé sur la partie inférieure du bois afin de l'alléger mais aussi pour conserver une partie centrale suffisamment consistante pour résister aux contraintes du poinçon. L'entrait principal présente aussi un équarrissage forcé sur sa moitié inférieure.

Malgré ces précautions, toutes les fermes se sont altérées avec le temps et présentent, sans exception, les mêmes symptômes : une descente du poinçon accompagnée d'une déformation des chevrons et du premier faux entrait. En effet, les chevrons se sont ployés dans leurs moitiés supérieure et inférieure, mais dans des orientations opposées. Dans leur moitié supérieure, les chevrons ont plié vers l'intérieur de la ferme, avec une flèche importante de 10 cm en moyenne, résultant de la descente du poinçon et de la flexion du premier faux entrait qui a entraîné le chevron via la contrefiche. La moitié inférieure du chevron s'est bombée dans l'autre sens, vers l'extérieur, avec une moindre flèche, de 5 cm en moyenne, poussée par l'aisseleur et la flexion du premier faux entrait. En pied, ils ont été maintenus

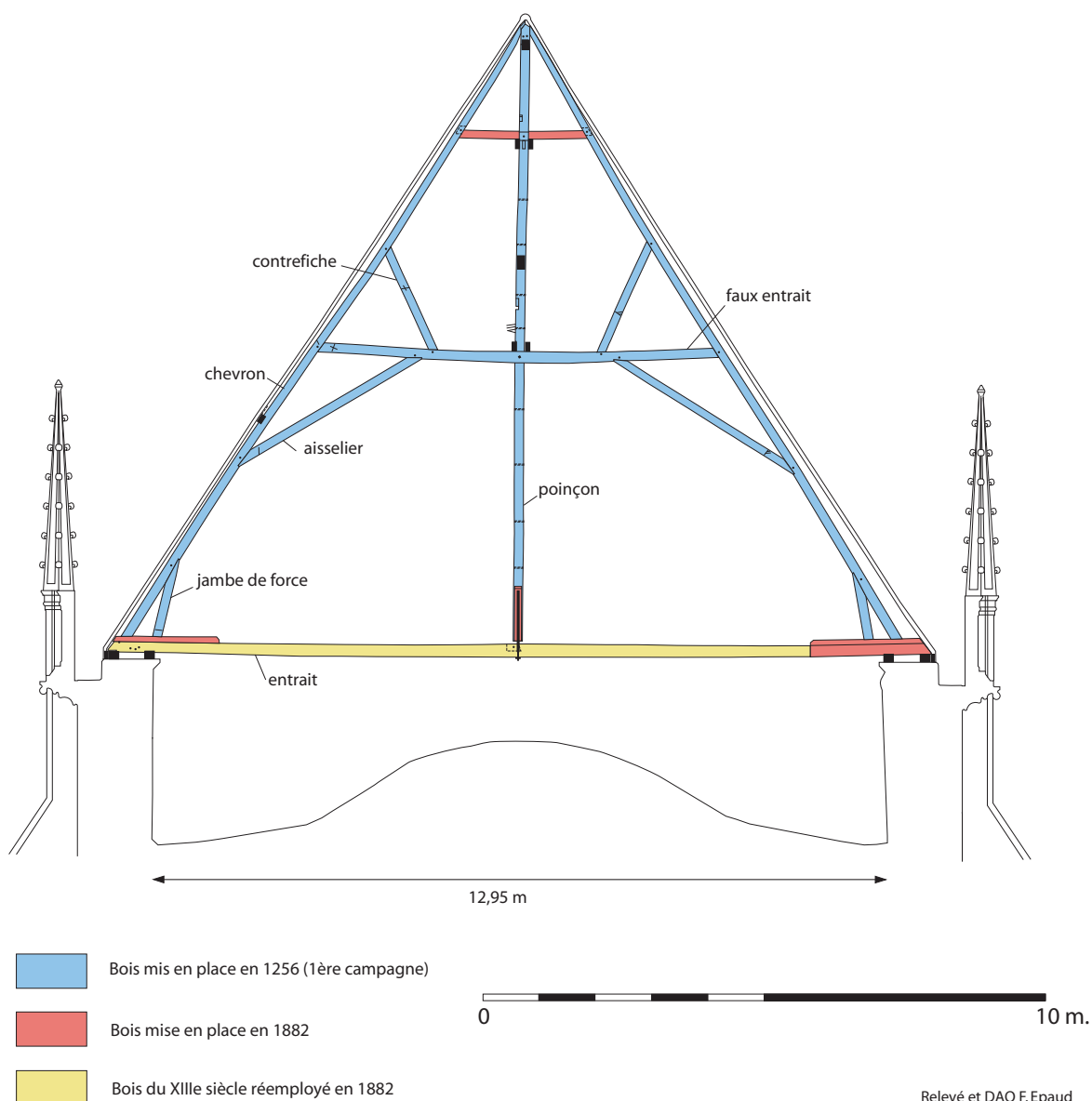


Fig. 16 : Ferme principale F36 du premier ensemble, face ouest (relevé et DAO : F. Epaud).

grâce à l'entrait qui empêchait leur écartement à la base. Les chevrons se sont en fait pliés comme un S.

En outre, la tête des poinçons s'est rompue en raison d'une surcharge du poinçon liée à son propre poids, additionné à celui de l'entrait. Soit les mortaises destinées aux chevrons se sont cassées (Fig. 18), soit le poinçon s'est déchiré dans le sens longitudinal des fibres (Fig. 19). La descente du poinçon a entraîné la cassure du second faux entrait, en partie haute de la ferme, au droit de son assemblage, ou plus rarement sa sortie d'assemblage (F41), ce qui explique

qu'ils ont pour certains été retirés au XIX<sup>e</sup> s. Les premiers faux entrails, malgré leur forte section, ont subi le même sort (Fig. 20). Ils sont pour la plupart cassés au droit de l'assemblage du poinçon, avec une très forte flèche vers le bas<sup>33</sup>.

33. Toutes ces pièces ont été remplacées au cours du chantier de restauration, commencé en 2010 sur cette charpente sous la direction de l'ACMH P. Ponsot. Nous regrettons toutefois le remplacement systématique de tous les chevrons qui auraient pu être, selon nous, conservés en place et renforcés.

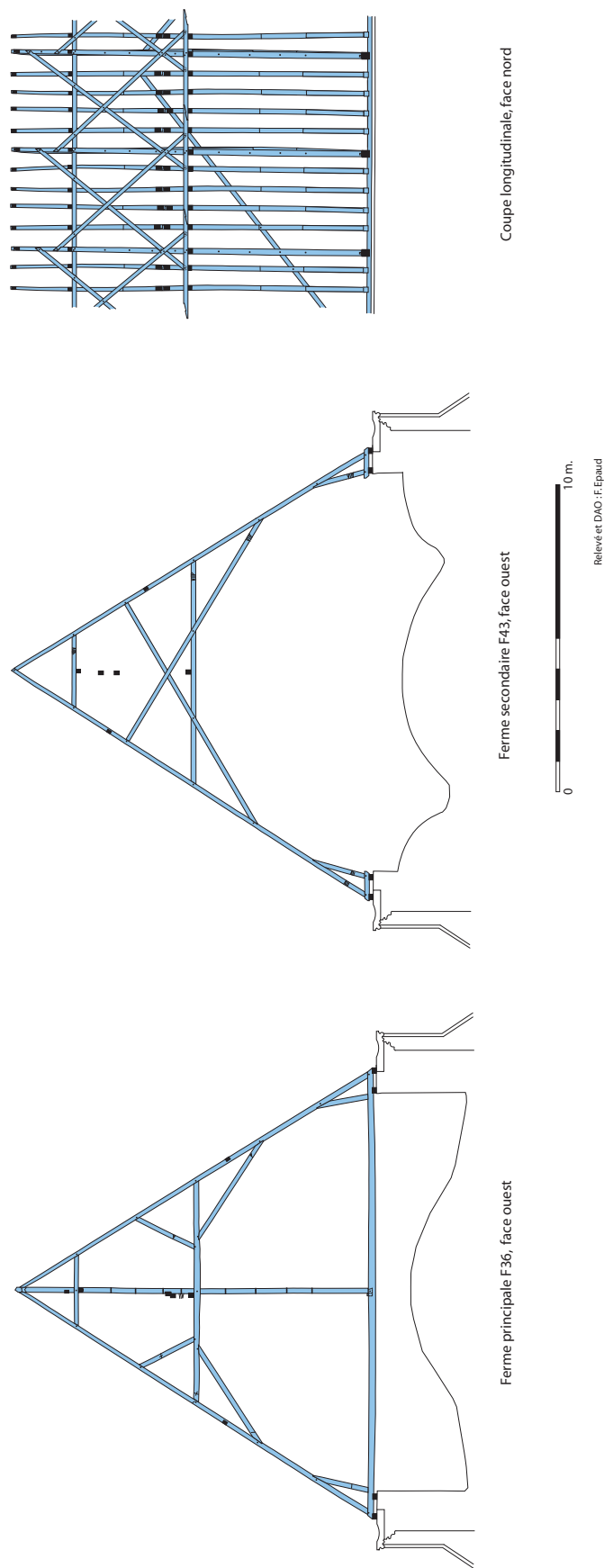


Fig. 17 : Restitution de la charpente de la nef (relevé et DAO : F. Epaud).





Fig. 18 : Cassure de l'assemblage de tête du poinçon de F26, avec descente de celui-ci (Cl. F. Epaud).



Fig. 19 : Déchirement du poinçon de F51 (Cl. F. Epaud).



Fig. 20 : Rupture du premier faux entrain de F46 suite à la descente du poinçon (Cl. F. Epaud).

Les fermes principales du deuxième ensemble, de F57 à F67 (1262)

Les deux fermes principales de cet ensemble, F62 et F67, ont une structure similaire à l'exception des faux entrails qui, au lieu d'être d'une seule pièce, sont constitués de deux pièces assemblées par tenon-mortaise aux flancs du poinçon (Fig. 21). Ce dernier présente aussi une section différente avec une surépaisseur à mi-hauteur et un équarrissage forcé en partie inférieure.

On comprend dès lors pourquoi le poinçon est là aussi descendu, provoquant la rupture de son assemblage de tête aux chevrons et l'infléchissement des deux pièces constituant les faux entrails. En effet, aucune pièce de raidissement interne ne permettait de maintenir le poinçon dans sa position initiale et seul l'assemblage de tête retenait le poinçon, ce qui est trop peu pour résister à la traction vers le bas engendrée par l'entrait et le poids du poinçon. Dans la plupart des grandes fermes triangulées du XIII<sup>e</sup> s., il existe plusieurs faux entrails et/ou une croisée

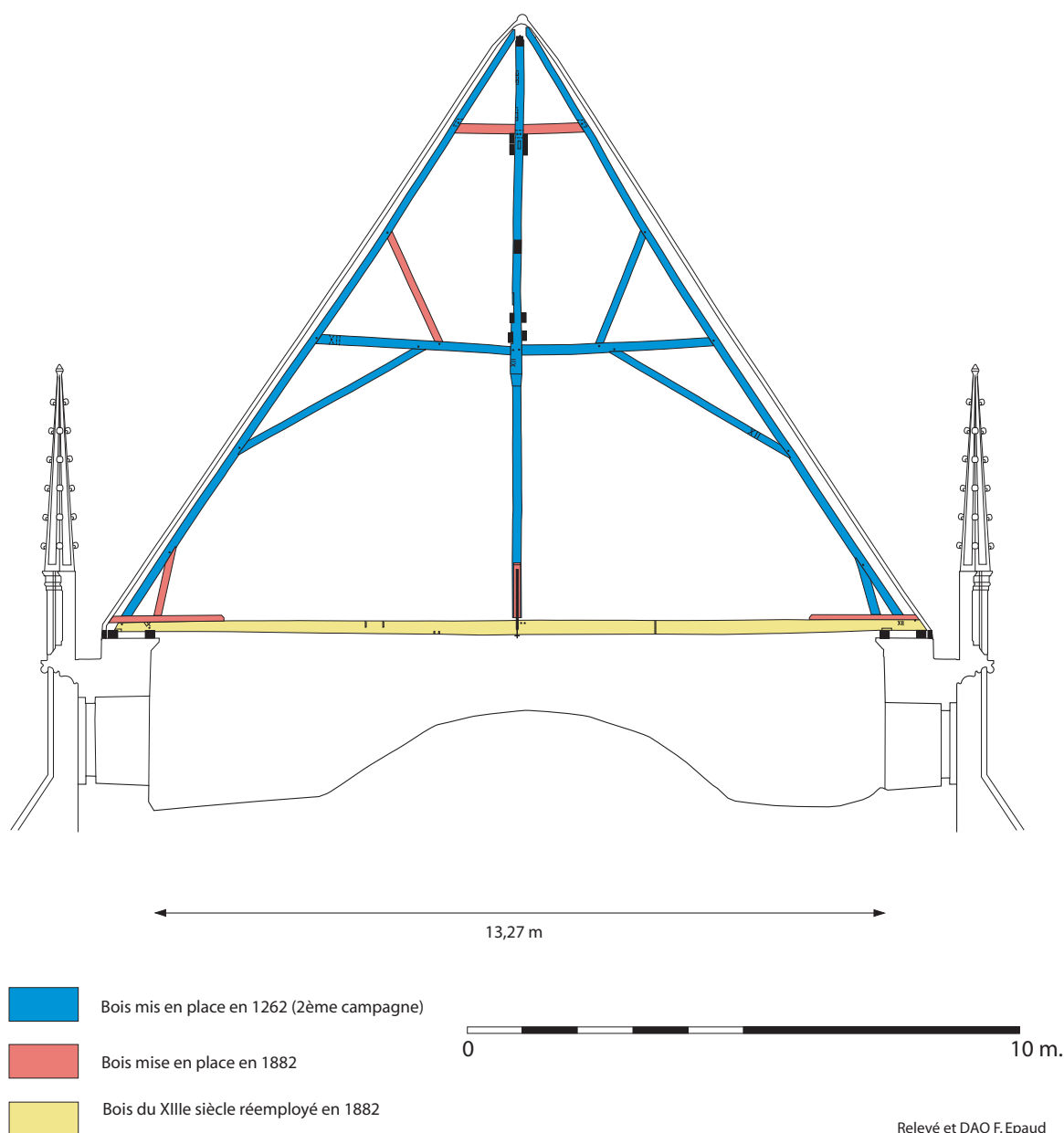


Fig. 21 : Ferme principale F67 du deuxième ensemble, face ouest (relevé et DAO : F. Epaud).

d'écharpes assemblées au poinçon pour permettre à ce dernier de se maintenir à niveau. Dans cet ensemble, encore plus que dans le précédent, la triangulation n'est pas efficace et le poinçon s'appuie sur l'entrait. La traction vers le bas du poinçon a été sous-estimée par rapport à la capacité de résistance de ses assemblages de tête. En outre, les chevrons ont fortement ployé, entraînés par l'affaissement de ses raidisseurs.

## 6. LES FERMES SECONDAIRES

Ces fermes couvrent une portée de 13 m, dans œuvre des murs. Dans leur état restitué du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> s. (Fig. 17), elles culminent à 11,70 m de hauteur (11,25 m aujourd'hui) depuis l'arasement des murs et présentent une inclinaison des chevrons de 57,5°. Les fermes secondaires ont une structure différente de celle des fermes principales, ce qui est assez exceptionnel pour une charpente du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> s. ; nous y reviendrons. Il existe deux types de fermes secondaires : celles du premier ensemble, mis en place en 1256, entre F16 et F56 et celles du second ensemble, liées à une reprise en 1262, entre F57 et F67.

Les fermes secondaires du premier ensemble, de F16 à F56 (1256)

Elles sont chacune constituées d'un couple de chevrons, assemblés en tête par enfourchement, et raidis à mi-longueur par un entrait retroussé, une croisée d'écharpes et, en partie haute, un faux entrait (Fig. 22). En pied, une jambe de force reprend les charges pour les transmettre à un blochet (disparu) qui reprenait le pied du chevron. Tous les raidisseurs (jambes de force, entrait retroussé, faux entrait, écharpes) sont assemblés aux chevrons par des tenons mortaises. Ceux des jambes de force et du pied des écharpes comportent un léger embrèvement de façon à ce que ces bois travaillent mieux en butée sur le chevron. La croisée des écharpes est à mi-bois, face est, comme celle des écharpes à l'entrait retroussé.

Les entrails retroussés présentent une section plus haute que large (14 x 15,5 cm) comparés aux autres bois. En effet, l'entrait retroussé travaille autant en traction, en limitant l'écartement des chevrons, qu'en flexion, en subissant le fléchissement des écharpes. Sous le poids de la couverture et surtout, en raison de leur très grande portée (13,70 m), les chevrons se sont fortement ployés, jusqu'à avoir

une flèche<sup>34</sup> de 20 cm, bien plus importante que dans les fermes principales (Fig. 23). Les écharpes n'ont pas vraiment limité cette déformation en raison, là aussi, de leur faible section et de leur grande longueur (8,40 m). Ces dernières ont donc également plié avec une flèche de 10 à 14 cm malgré leur assemblage à l'entrait retroussé. Sous la flexion conjuguée des chevrons et des écharpes, l'entrait retroussé a également subi une déformation avec une flèche de 8 cm en moyenne. Leur forte section leur a cependant permis de résister à ces contraintes et, ainsi, de ne pas rompre, contrairement aux entrails retroussés des fermes principales. Il faut en déduire que le maître charpentier avait, dès la conception de ces fermes, anticipé ces déformations et fait tailler les entrails retroussés avec une section adaptée. Seule la partie haute des fermes secondaires, raidie par le faux entrait, ne s'est pas déformée. On peut se demander en combien de temps ces déformations sont apparues ; après quelques années ou sur plusieurs siècles ? On peut aussi s'interroger sur la disparition des écharpes vers la fin du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> s. et dans quelle mesure les maîtres d'œuvres étaient conscients de leur inefficacité pour le raidissement des grandes fermes<sup>35</sup>.

Les fermes secondaires du deuxième ensemble, de F57 et F67 (1262)

Comme nous le verrons plus loin, les fermes de cet ensemble ont été mises en œuvre en 1262 lors d'une reprise de la charpente d'origine, pourtant levée à peine 7 ans plus tôt. Ces fermes secondaires présentent, pour la plupart, une structure différente du fait du réemploi d'éléments des anciennes fermes (Fig. 24). Ces réemplois sont essentiellement des chevrons et quelques écharpes des fermes précédentes, identiques à celles du premier ensemble, d'après leur restitution.

34. Écartement maximal entre la position de chevron au repos et celle du même chevron soumis à la flexion.

35. La restauration en cours de la charpente a supprimé les moises du <sup>xix</sup><sup>e</sup> s. qui permettaient de contrer la flexion des chevrons et de rectifier les versants de la toiture. Ces moises ont été remplacées par un sur-chevron qui comble la flèche des chevrons jusqu'à obtenir un versant droit. Nous profitons de cette publication pour exprimer nos doutes quant à l'efficacité de ces sur-chevrons qui surchargent les chevrons sans contrevenir à leur flexion que les écharpes et les entrails retroussés, déjà fléchis et en limite de rupture, ne pourront contenir.



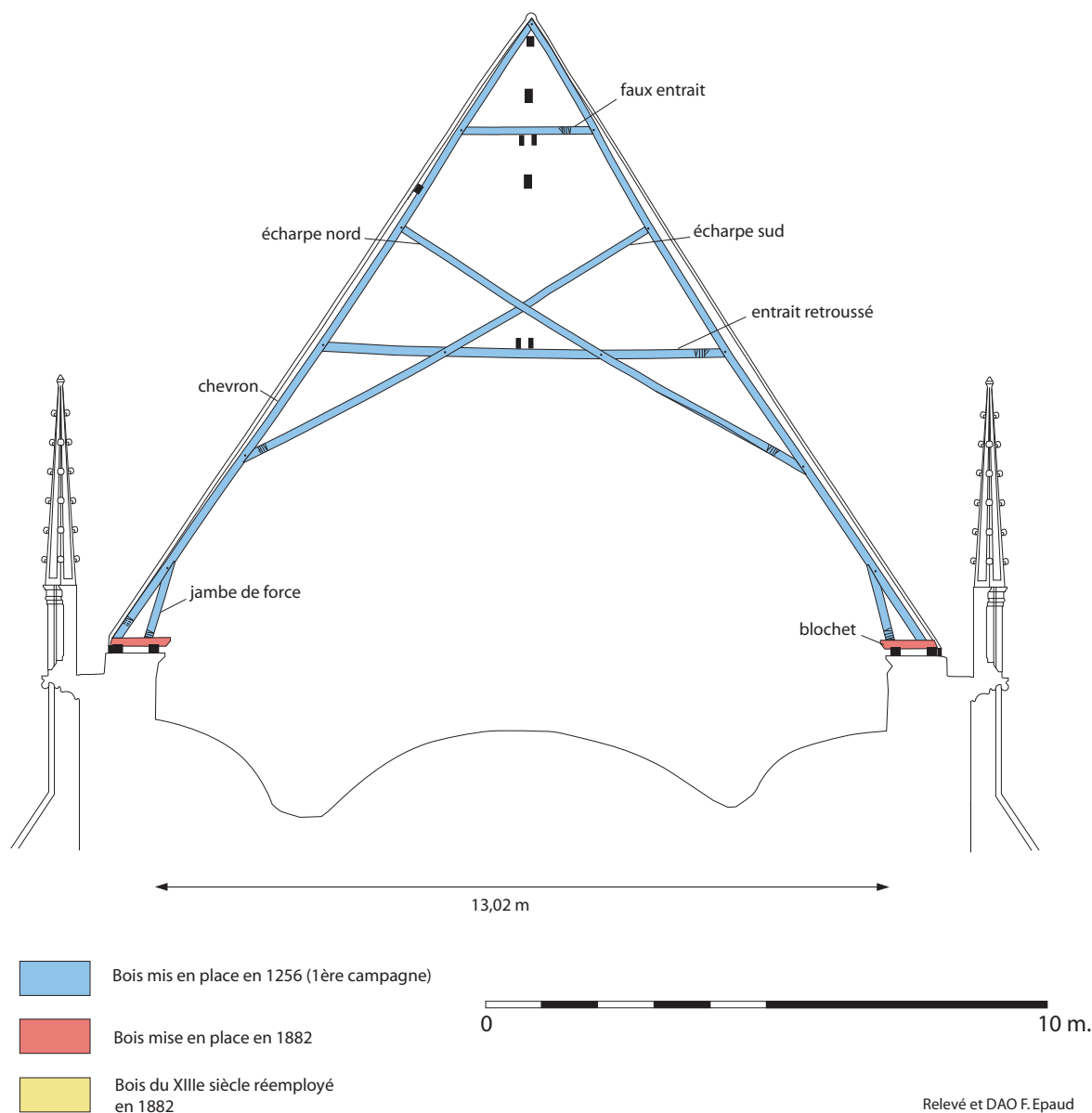


Fig. 22 : Ferme secondaire F43 du premier ensemble, face ouest (relevé et DAO : F. Epaud).

Ces fermes secondaires sont assez hétérogènes : certaines ne comportent aucun changement (F59, F60, F61) par rapport aux précédentes et ne réemploient que quelques bois courts pour leur faux entrain ou leurs jambes de force. Les autres fermes utilisent des réemplois pour remplacer les grandes écharpes. Les chevrons sont alors raidis à mi-portée par un entrain retroussé et, à la place des grandes écharpes, par un couple d'aisseliers et une croisée de courtes écharpes qui s'assemblent en

pied à l'entrain retroussé. Leur faux entrain et leurs jambes de force réemploient aussi des anciens bois. Tous les assemblages dans l'entrain retroussé sont à tenons et mortaises avec embrèvement. La position de l'entrain retroussé, comme sa forte section, restent inchangées. F64 est la seule ferme à réemployer des longs bois en grandes écharpes.

En dépit de ce changement de structure, les fermes se sont tout de même déformées avec une flèche importante de 20 cm maximum des che-



Fig. 23 : Flèche des chevrons des fermes secondaires (Cl. F. Epaud).

vrons. Les petites écharpes et les aisseliers se sont bien comportées du fait de leur courte longueur. Cependant, l'entrait retroussé s'est beaucoup déformé au droit des assemblages des écharpes et des aisseliers, sous la flexion des chevrons.

Comme pour les fermes du premier ensemble, la base des chevrons et des jambes de force a été amputée en 1882 mais elle devait comporter un blochet pour la réception du pied de la ferme et son assemblage aux sablières.

## 7. LES ÉLÉMENTS LONGITUDINAUX

### Les sablières

Il ne subsiste plus aucune sablière d'origine en place depuis le rehaussement des gouttereaux de 40 cm environ en 1882, lequel a provoqué l'amputation de tous les pieds des chevrons et des jambes de force. De même, aucun blochet d'origine n'a été conservé à l'issue de ce chantier. Cependant, au cours de ces travaux, les charpentiers ont réemployé de nombreuses pièces pour les fourrures des chevrons moisés (Fig. 25). Avec les nouveaux

travaux de restauration entrepris en 2010, ces fourrures ont pu être déposées avec une numérotation systématique des bois. Ainsi, nous avons pu repérer, parmi ces réemplois, au moins deux fragments de sablières (F41N1M et F49M3S)<sup>36</sup>, le premier débité dans sa longueur et conservant trois entailles à mi-bois et le second, de section complète, comprenant trois entailles à mi-bois en demi-queue d'aronde (Fig. 26). L'espacement des entailles correspond à l'entrevous des fermes actuelles, de 47,8 cm en moyenne. Leur section reconstituée est de 13,5 à 14 cm de large pour 8 cm d'épaisseur mais les entailles laissées sur les entrails suggèrent qu'elles pouvaient atteindre 17 cm de large, et que les sablières étaient espacées de 45 cm en moyenne. Les blochets étaient donc encastrés dans les sablières par une entaille à mi-bois en demi-queue d'aronde pour la sablière externe vraisemblablement, et par une entaille droite pour la sablière interne. D'après les entailles observées

36. F18N2M est bien aussi une sablière mais l'écartement des entailles ne correspond pas à l'entrevous des fermes de la charpente gothique. Il peut s'agir d'une sablière d'une autre partie de la charpente de la cathédrale, en cours de restauration lors de ce vaste chantier de 1882.



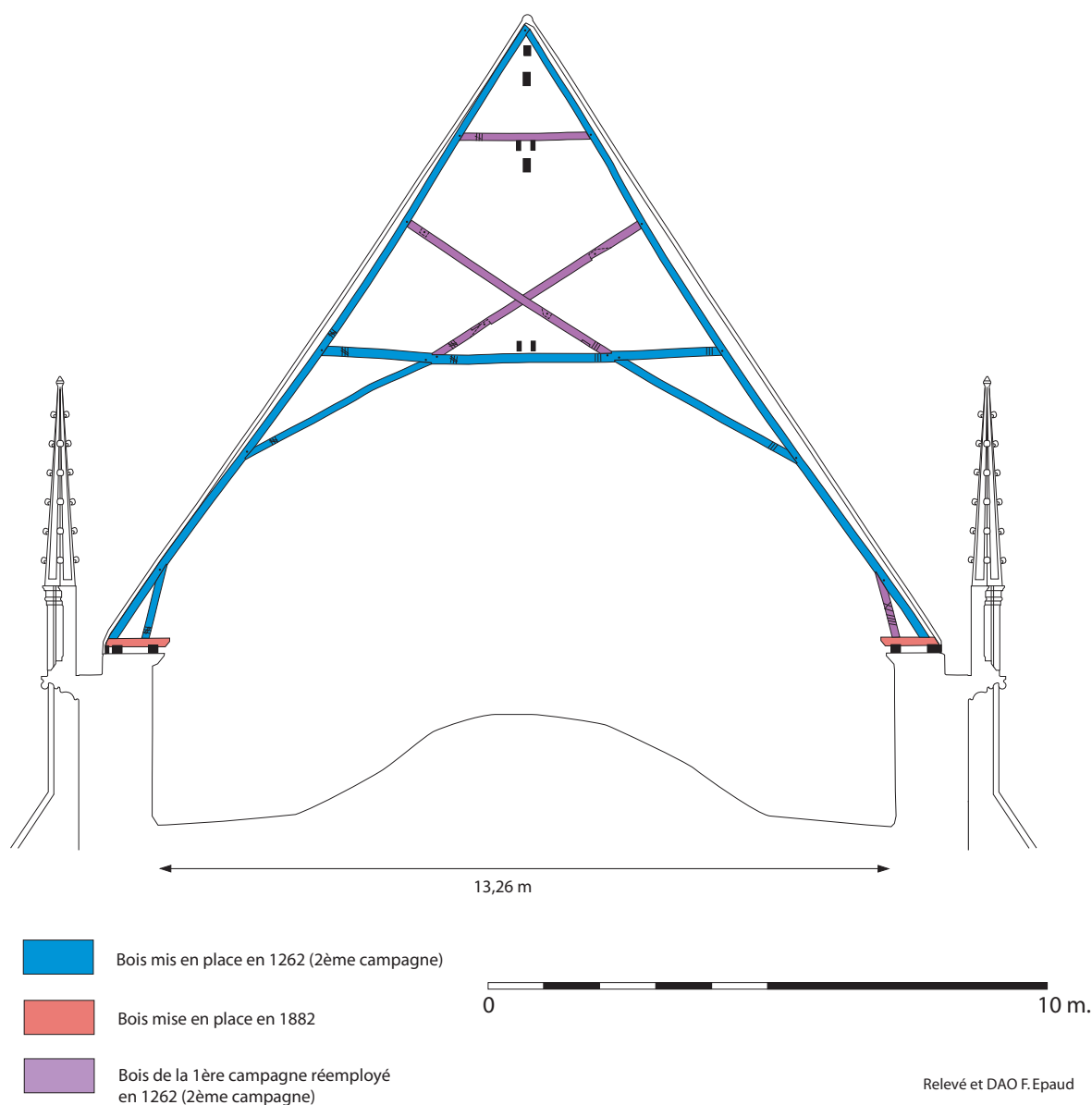


Fig. 24 : Ferme secondaire F58 du deuxième ensemble, face ouest (relevé et DAO : F. Epaud).

sur les entrails, ceux-ci étaient assemblés aux sablières interne et externe par des mi-bois en demi-queue d'aronde, placés soit du même côté, soit de chaque côté.

#### Le dispositif de contreventement axial

Tous les poinçons possèdent sur leur flanc nord des entailles d'assemblages qui témoignent de l'existence d'un dispositif longitudinal axial sur toute

la longueur de la charpente. Plusieurs questions concernent ce dispositif : comment était-il ? À quoi servait-il ?

Comme pour les sablières, plusieurs éléments de ce dispositif ont été retrouvés en réemploi dans les fourrures des chevrons et aussi dans la passerelle actuelle mise en place lors des travaux de 1882. À l'exception de celui de la passerelle, tous ces bois ont été déposés au cours du chantier de restauration pour y être relevés et datés par dendrochronologie.

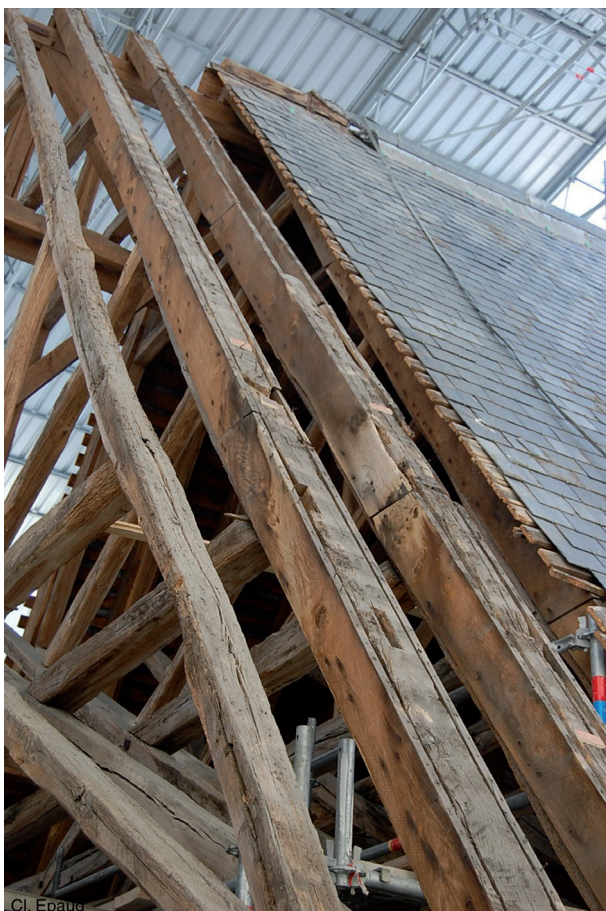


Fig. 25 : Chevrons moisés par des planches, garnis d'une fourrure de pièces diverses en réemploi (à droite) et chevron mis à nu pendant la restauration (à gauche), (Cl. F. Epaud).

### Les traces sur les poinçons

Tous les poinçons présentent les mêmes négatifs à savoir (Fig. 14) :

- juste au-dessus du premier faux entrain, sur la face nord, une entaille droite, peu profonde (2 cm) et de 15-16 cm de hauteur, percée de deux trous de cheville disposés en diagonale (Fig. 27) ;
- au-dessus, toujours sur la face nord, une entaille droite oblique de 14 cm de large, profonde de 4 cm et percée aussi de deux trous de cheville en diagonal, associée systématiquement à un troisième trou de cheville, voire un quatrième, à côté de l'entaille ;
- juste au-dessous du dernier faux entrain, une mortaise traversante dans le sens est-ouest, de 13-14 cm de haut, percée de trous de cheville en diagonal ;

- en partie sommitale du poinçon, sur la face nord, deux entailles à mi-bois en demi-queue d'aronde, la première, la plus basse, orientée vers l'ouest, la seconde, vers l'est (Fig. 28).

La position des entailles droites obliques et des deux mi-bois en haut du poinçon varie de poinçon en poinçon, ce qui témoigne de l'irrégularité du dispositif et des bois. Sur F62 l'entaille oblique n'a pas été taillée, et sur F16 elle est inversée par rapport aux autres. Sur quelques fermes secondaires contigües aux poinçons, des écharpes et des entrails retroussés ont été maladroitement entailés pour faciliter le passage des pièces du contreventement.

### Les réemplois

Parmi tous les bois déposés provenant des fourrures, après relevés, remontage des bois débités à la scie et datations dendrochronologiques, on peut reconnaître 14 éléments comme étant des fragments des différentes parties de ce dispositif (Fig. 26). On reconnaît des fragments des liernes longitudinales basses (14 x 16,5 cm) avec l'entaille latérale droite à mi-bois pour le poinçon, peu profonde, et les deux mortaises rapprochées, décalées de l'axe du bois afin de permettre la croisée des écharpes, avec une gorge inclinées vers le poinçon (Fig. 29). Une lierne basse complète, de 3,75 m de long, est en réemploi dans la passerelle dans le chœur, entre F147 et F152, avec ses deux assemblages de bout. En tout, il est possible d'en reconstituer cinq avec le remontage des réemplois. Un fragment de lierne haute (12 x 13 cm) a été également identifiée avec ses deux entailles obliques à mi-bois pour les grandes écharpes. Cinq autres fragments, dont le plus long de 3,50 m, proviennent des écharpes. Ils comportent les entailles à mi-bois destinées à leur propre croisée et à leur assemblage au poinçon.

### Restitution et fonction

Ainsi, il est possible de reconstituer l'ensemble du dispositif (Fig. 17). À sa base, il est composé d'un cours ininterrompu de liernes basses, de 3 m à 3,80 m de long, placées sur les entrails retroussés et assemblés par un mi-bois peu profond à la face nord du poinçon. Ces liernes s'aboutent entre elles par une longue enture crantée chevillée, orientée pour un montage dessous-dessus dans le sens ouest-est

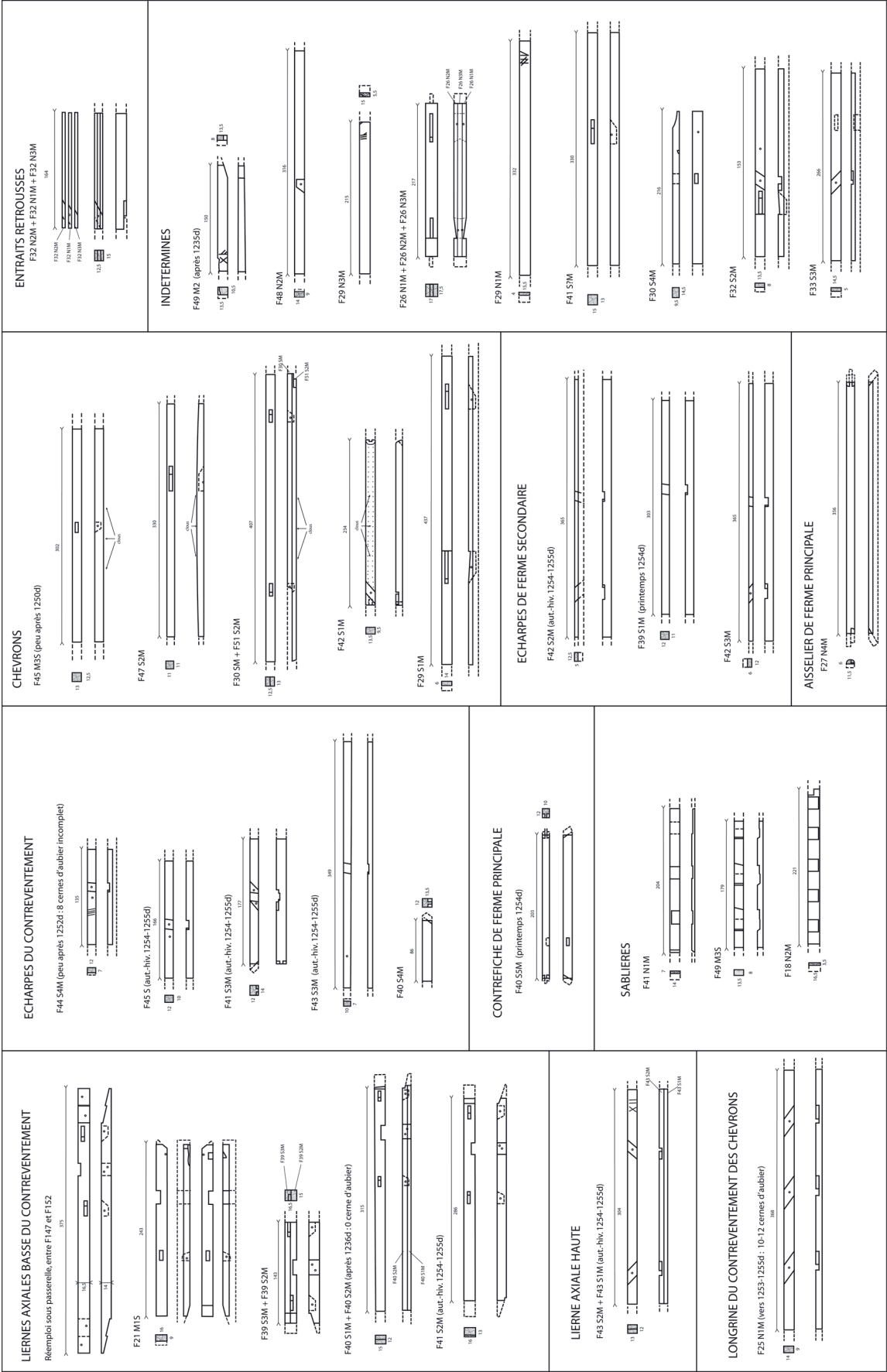


Fig. 26 : Relevé des réemplois provenant des fourrures des chevrons (relevé et DAO : F. Epaud).

Relevé et DAO F. Epaud





Fig. 27 : Assemblages à mi-bois du poinçon de F41  
(Cl. F. Epaud).



Fig. 28 : Assemblages à mi-bois de la tête du poinçon de F21  
(Cl. F. Epaud).

pour F41S2M, F40S1M+F40S2M et dans le sens opposé pour F39S3M+F39S2M et celle de la passerelle. Nous privilégierons le premier sens ouest-est pour la nef, l'autre sens étant défini par la lierne de la passerelle qui provient vraisemblablement de la charpente du chœur. Elles ne sont donc pas dans l'axe du poinçon mais décalées d'une dizaine de centimètres grâce à un mi-bois de 2 cm de profondeur seulement. Ce décalage permet ainsi aux écharpes de franchir les poinçons et de s'assembler en pied dans les liernes par des tenons-mortaises qui sont également désaxés. Le mi-bois qui assemble la lierne au poinçon est fixé par deux chevilles qui sont disposées en diagonale de façon à ne pas provoquer de fissure dans le sens des fibres du bois.

En partie haute, des liernes hautes viennent s'assembler par tenon-mortaise aux poinçons, juste sous le niveau des faux entrails. Comme la largeur du poinçon est faible à ce niveau (14 cm en moyenne), le chevillage des tenons est, comme pour les liernes basses, en diagonale.

Deux grandes écharpes par travée, inclinées approximativement à 50°, assurent le contreventement des fermes principales. Elles s'assemblent en tête par un mi-bois en demi-queue d'aronde au poinçon, par mi-bois à la lierne haute, à leur croisée et à celle du poinçon et, en pied, par tenon-mortaise à la lierne basse. Les écharpes s'assemblent donc entre elles par deux croisées, une à leur tiers supérieur et une seconde en pied, au droit du poinçon. Pour ce dernier, l'écharpe ouest (mi-bois de tête à l'ouest) est toujours assemblée à mi-bois dans le poinçon en premier et l'écharpe est de la travée suivante (en avançant vers l'est) vient s'y assembler par-dessus en second (Fig. 30). Celle-ci est donc entaillée pour s'encaster dans l'écharpe ouest et non dans le poinçon qui est trop en retrait. Seul un chevillage assure la fixation de l'écharpe est au poinçon, en plus de son mi-bois chevillé avec l'écharpe ouest. Seule F16 présente une entaille inversée à cette croisée, pour un montage écharpe est sur écharpe ouest, pour une raison qui nous échappe encore.





**Fig. 29** : Lierne longitudinale basse provenant des fourrures (F41 S2M), datée de l'aut.-hiv. 1254/1255 (Cl. F. Epaud).

Les liernes hautes, qui sont placées sous les faux entrails des fermes secondaires, contribuent à soulager celles-ci en les soutenant là où le tassement de la ferme est le plus manifeste. Elles reprennent ainsi les charges des fermes secondaires pour les transmettre aux poinçons des fermes principales. Cette transmission de charges est favorisée par les écharpes qui raidissent les liernes hautes et conduisent ces contraintes sur les poinçons. Il n'en est pas de même pour les liernes basses qui réceptionnent les écharpes et qui sont placées sur les entrails retroussés. Leur assemblage au poinçon, par un mi-bois peu profond, ne le permet d'ailleurs pas. Elles servent uniquement d'assise à ce dispositif. Les entrails retroussés, comme les faux entrails, ne sont pas chevillés aux liernes, ce qui suppose que les fermes secondaires ne sont pas étré sillonnées ni contreventées par ces liernes. Quant aux écharpes, assemblées aux poinçons et aux liernes,



**Fig. 30** : Fragments d'écharpe est du contreventement axial avec l'entaille à mi-bois destinée à l'écharpe ouest et le chevillage pour le poinçon (Cl. F. Epaud).

elles garantissent le maintien de l'écartement des poinçons et contribuent ainsi au contreventement des fermes principales.

Le soutien des fermes secondaires n'est assuré qu'en partie, uniquement en partie haute. L'ensemble du dispositif participe donc majoritairement au contreventement des fermes principales et, pour une faible part, au soutien des fermes secondaires et au report de leurs charges sur les poinçons qui, par triangulation, compensent ces contraintes.

### Le contreventement des chevrons

#### Description des traces et restitution

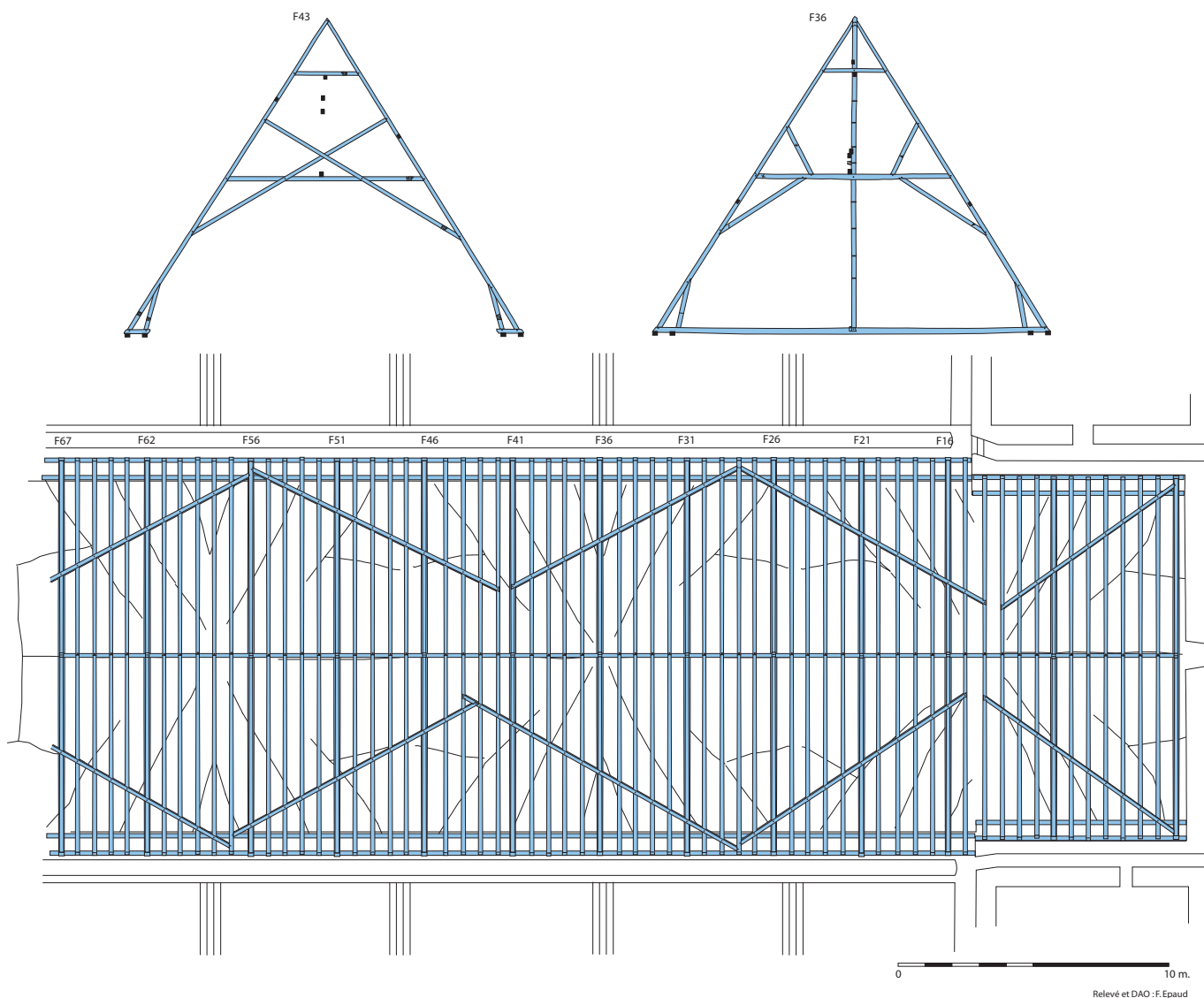
Avant la dépose, en 2010, des moises qui masquaient les flancs des chevrons, on pouvait observer, en sous-face des chevrons, des alignements en diagonale de trous de chevilles sur tout le long de la charpente, de F16 à F56. Lors de cette dépose, on put constater, en effet, la présence d'entailles d'assemblages à mi-bois associées à ce chevillage (Fig. 31). Ces mi-bois, de 3 cm de profondeur et larges de 14 cm, servaient à la fixation d'au moins trois longrines par versant, dans le plan du chevronnage, disposées de façon symétrique par rapport à l'axe longitudinal de la charpente (Fig. 14). Ces longrines s'assemblent, en pied, dans le flanc du chevron par un tenon-mortaise et, en tête, par un mi-bois en demi-queue d'aronde, jusqu'à la hauteur des têtes d'écharpes, c'est-à-dire à la limite d'une section suffisante pour la taille de l'assemblage. Elles se succèdent, sur chaque versant, sans discontinuer de ferme en ferme, en alternant leur inclinaison comprise entre 38 et 42°. Si deux longrines



**Fig. 31** : Entailles à mi-bois en face supérieure des chevrons, après dépose des fourrures, pour un contreventement oblique (Cl. F. Epaud).

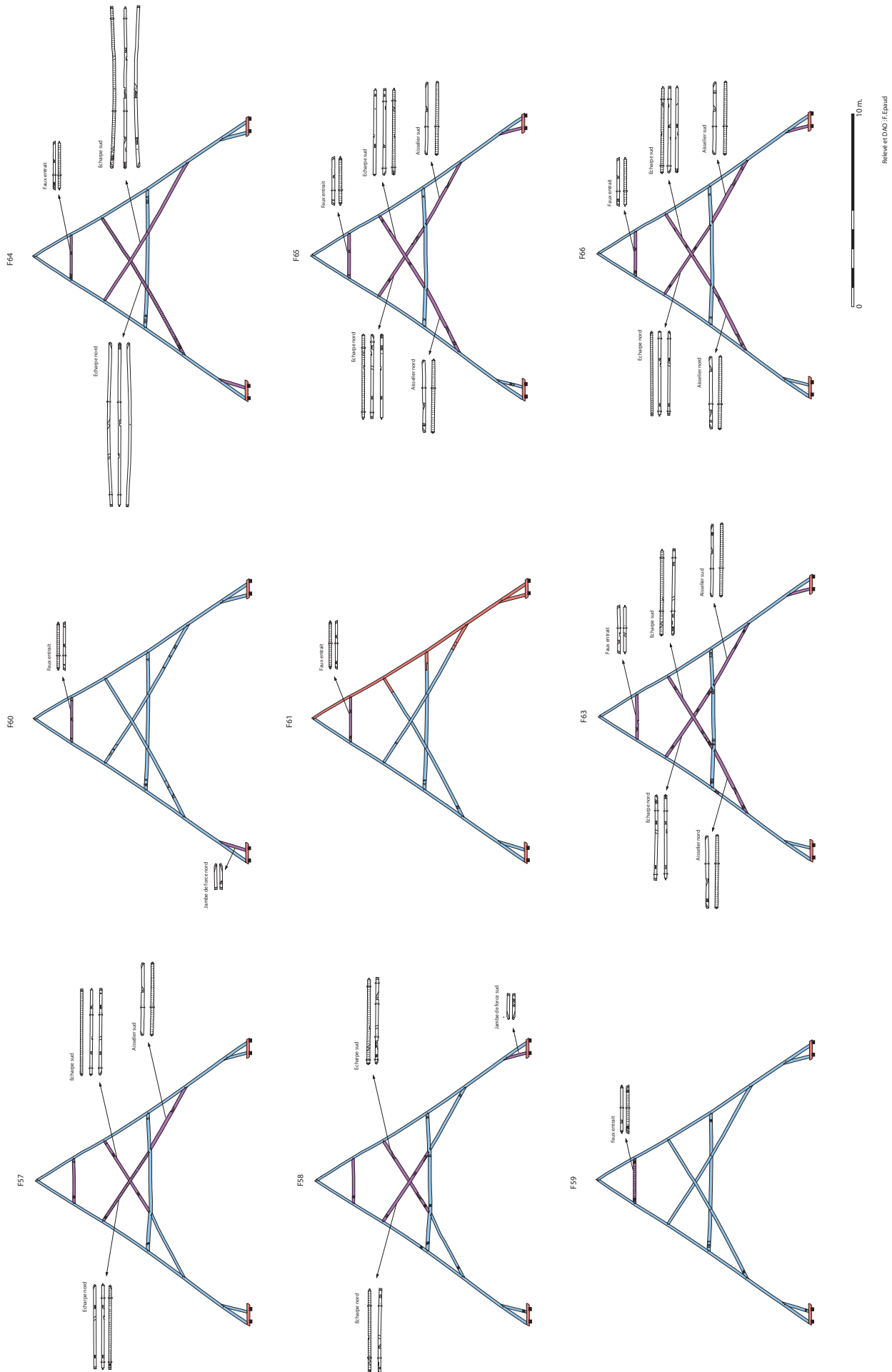
successives sont fixées en pied dans les flancs d'un même chevron, en tête, elles s'assemblent sur des chevrons distincts et contigus, à l'exception du versant sud, entre F43 et F44, où l'une se lie à l'autre.

La charpente de la nef comportait cinq longrines par versant, du pignon occidental jusqu'à F67 (Fig. 32). En effet, pour les travées occidentales situées entre les deux tours, disparues au <sup>XIX</sup><sup>e</sup> s., le chevron sud de F16 est un chevron en réemploi d'une ferme secondaire de cet ensemble. Ce dernier porte en partie haute un mi-bois en demi-queue d'aronde de tête d'une longrine partant vers l'ouest, inclinée vers le bas, qui atteste que ces travées étaient aussi contreventées par une longrine, et vraisemblablement sur les deux versants, comme



**Fig. 32** : Restitution du plan du chevronnage de la charpente de la nef en 1256 (1<sup>re</sup> campagne), avec son contreventement (relevé et DAO : F. Epaud).

Relevé et DAO : F. Epaud





pour les travées précédentes. À l'emplacement du deuxième ensemble (F57-F67), les fermes de la première campagne comportaient également ces longrines comme l'attestent les chevrons en réemplois dans ces fermes.

À l'heure où nous écrivons ces lignes, les travaux de restauration n'ont pas permis de retirer les moises au-delà de F54 et nos observations sur les deux dernières travées orientales se limitent donc aux faces internes des chevrons. On constate, d'une part, que les chevrons de F57 à F67 (deuxième campagne de 1262) ne présentent pas de trous de cheville. D'autre part, les chevrons de F58 et F63, qui sont dépourvus de moise, ne possèdent pas d'entaille à mi-bois. On en déduit que les fermes de la deuxième campagne n'étaient pas contreventées par des longrines.

Enfin, sur le versant sud, entre F36 et F46, deux longrines amputées aux extrémités sont conservées dans leurs entailles mais leur taille maladroite, leur fixation par des boulons et leur section inadaptée aux mi-bois montrent qu'elles sont d'époque moderne ou contemporaine.

#### Origine du dispositif

Parmi les réemplois contenus dans les fermes situées entre F56 et F67 (2<sup>e</sup> campagne en 1262), on reconnaît de nombreux chevrons qui proviennent du démontage des fermes secondaires précédentes de la première campagne en 1256, provenant de ces mêmes travées (Fig. 33). Parmi ces chevrons réemployés, reconnaissables par la disposition de leur mortaise et la présence de clous sur leur face extérieure pour le lattis, quelques-uns présentent une entaille à mi-bois en face externe, identique aux précédentes, destinée à une longrine (Fig. 46). Trois d'entre eux (n° 159, F58 écharpe nord : 1243BF ; n° 162, F64 écharpe sud : 1238BF ; n° 165, F66 écharpe sud : 1242BF)<sup>37</sup> ont été datés par dendrochronologie comme appartenant aux phases d'abatage de la campagne de mise en place de la charpente de la nef en 1256. Ils attestent bien l'origine du dispositif.

Parmi les réemplois placés en 1882 dans les fourrures des chevrons, un fragment de longrine a été identifié (F25N1M) (Fig. 26 et 34). De 9 x 14 cm de section, long de 3,68 m, il comporte trois entailles à mi-bois obliques, profondes de 5 cm et espacées de 44 et 47 cm pour des bois de 15-16 cm de large,

37. 1243 BF (bois final) : abattu en automne-hiver 1243-1244 ; 1243 BI (bois initial) : abattu au printemps 1243.



Fig. 34 : Fragment d'une longrine (vers 1253-1255) du contreventement des chevrons retrouvé dans les fourrures (Cl. F. Epaul).

ce qui correspond parfaitement à l'entrevous et la section des chevrons, avec une inclinaison identique à celle des longrines restituées. Son analyse dendrochronologique a situé son abatage vers 1253-1255, ce qui valide la mise en place des longrines lors de la première campagne de 1256.

Il est exclu que ces longrines aient pu être ajoutées après la pose de la charpente car les assemblages des chevrons pour les longrines n'ont pu être taillés qu'au sol, et non en hauteur sur les versants. De plus, le tracé des assemblages par piquage se fait par présentation de la longrine sur les chevrons et on ne peut imaginer que les charpentiers aient pu lever ces longrines sur les chevrons en place, tracer les assemblages, et ensuite les tailler, à plusieurs mètres de haut sur un versant incliné à 57,5°. De même, on ne saurait envisager une découverture sur toute la longueur de la toiture pour une mise en place après coup de ces longrines.



Il est important de noter que ce contreventement des chevrons est le plus ancien recensé à l'heure actuelle en France. Il est habituellement considéré comme une invention des <sup>xv</sup><sup>e</sup>-<sup>xvi</sup><sup>e</sup> s. Il a pourtant été observé sur des charpentes du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> s. mais a été systématiquement considéré comme un rajout postérieur, comme sur la maison 13 rue des Changes à Chartres<sup>38</sup>.

#### Fonction

La fonction de ces longrines est évidemment de contreventer les fermes dans le plan du chevronnage. En étré sillonnant les fermes entre elles par les chevrons, on restreint le risque de déversement de la structure.

La très grande majorité des charpentes antérieures au milieu du <sup>xiii</sup><sup>e</sup> s. ne sont pas contreventées et seul le lattis de la couverture assure le maintien des fermes, même pour de grandes structures (cathédrales de Bayeux, de Lisieux, de Sens...). En effet, le contreventement des fermes peut être considéré comme une précaution inutile si le lattis assure correctement sa fonction. Le dévers des fermes est très rare et n'intervient que lorsque le lattis est en mauvais état. Pour cette raison, de nombreuses charpentes ont continué à en être dépourvues, notamment dans l'architecture vernaculaire ou dans les pays de l'Est encore aujourd'hui.

Dans la mesure où un contreventement axial des fermes principales est mis en place, celui des chevrons est-il nécessaire, sachant que le lattis de la couverture peut aussi assurer ce rôle ? Comme on l'a vu précédemment, le dispositif axial ne liaisonne pas les fermes secondaires, seules les fermes principales sont étré sillonnées entre elles. Il est donc possible que le maître d'œuvre ait conçu le contreventement des chevrons dans le but de compléter celui des fermes principales en les étré sillonnant toutes entre elles.

La conception de ce contreventement est assez intéressante. Le fait qu'il soit symétrique par rapport au faîtage renforce la stabilité des fermes en leur imposant deux points de tension similaires sur les chevrons. En cas de déséquilibre des fermes, celles-ci ne peuvent verser que dans le même sens. Cependant, cette symétrie suppose que les chevrons raidis en pied ne bénéficient pas du même soutien que celles qui sont contreventées en partie haute. Ainsi, F28, où les longrines sont assemblées en pied, n'est pas contreventée, contrairement aux autres.

38. Anciennement désignée comme salle de justice (*Charpentes* 2002 : 178).

## 8. LE MARQUAGE

Le relevé du marquage de cette charpente a consisté à noter, par ferme, l'ensemble des marques inscrites sur ses bois, avec leur localisation précise sur chaque pièce et leur outil d'inscription. Les 361 marques inventoriées sont présentées dans deux tableaux distincts, le premier pour les fermes principales, le second pour les fermes secondaires, en raison de leurs structures différentes, et selon le plan de leur répartition au sein de ces fermes (Fig. 35, 36 et 37).

À l'issue de cet inventaire et de l'étude de ces tableaux, on constate qu'il existe, pour l'ensemble des fermes F16-F67, deux systèmes de marquage en chiffres romains, définis par l'analyse conjointe des numérotations, des écritures des marques et de leurs emplacements : un premier pour les fermes F16-F56 et un second pour F57-F67. Pour ces deux ensembles, les marques sont inscrites à la rainette sur la face ouest des bois, à l'exception d'une série de marques inscrites sur la face nord des poinçons, destinées au dispositif longitudinal axial.

### Le premier marquage (F16-F56)

Ce marquage comprend deux séries numérotées et l'amorce d'une troisième à F56.

La première série évolue de F16 à F35, de l'ouest vers l'est, de I à XX sans discontinuité ni interruption au niveau des fermes principales. Celles-ci sont bien intégrées à la numérotation contrairement à ce que leur différence de structure avec les fermes secondaires aurait pu suggérer. On constate une abréviation pour la quinzaine avec le X associé au V et, à part quelques rares exceptions, que les I sont inscrits avant le V ou le X ce qui inverse le sens de lecture habituel de ces marques. Les marques de la moitié sud des fermes sont toutes associées à une langue de vipère qui fait office de contremarque pour faciliter l'orientation des bois au cours du levage.

Sur les fermes secondaires, les marques sont inscrites en pied de pièces pour les chevrons et les écharpes, avec un report de la marque sur le chevron au droit de l'assemblage du pied de l'écharpe. Les entrails retroussés sont majoritairement numérotés au nord, même s'il n'y a aucun systématisme, avec de très rares reports sur le chevron. Quant aux faux entrails, ils sont aléatoirement marqués au nord comme au sud, sans report sur le chevron.

Pour les fermes principales, on retrouve le même principe avec un marquage en pied de pièce

Fermes principales	Nord										Sud									
	Chevron					Poinçon					Entrait					Jambe de force				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
16						III														
21						III														
26						V														
31						IV														
36						III														
41						III														
46						III														
51						X														
56						IX														
62																				
67																				

pour les chevrons, les aisseliers et de façon moins systématique pour les contrefiches, avec un report au droit de l'aisseleur. Pour les faux entrails, il se fait aléatoirement au nord, au sud ou aux deux extrémités. Le poinçon ne semble être inscrit qu'en pied (amputé) à l'exception de celui de F31 qui est marqué à mi-hauteur avec un signe sans cohérence avec la numérotation.

La deuxième série, comprise entre F36 et F55, est presque semblable à la précédente avec une évolution de l'ouest vers l'est de I à XX, sans discontinuité par rapport aux fermes principales. On relève la même abréviation pour la quinzaine avec cependant un sens de lecture plus aléatoire des chiffres (les I avant le V avant le X ou l'inverse), parfois au sein même d'une ferme. Comme pour distinguer ces marques de celles de la série précédentes, elles possèdent un signe distinctif : un trait barré pour celles de la moitié nord (Fig. 38), et une double langue de vipère, faisant office de contre-marque, pour celles de la moitié sud.

Leur localisation sur les fermes secondaires semble plus rigoureuse avec, comme différence par rapport à la précédente série, une absence de report sur le chevron au droit du pied de l'écharpe, sauf pour les trois premières fermes, un marquage des entrails retroussés et des faux entrails uniquement au sud, sauf pour les deux premières fermes. Pour les fermes principales, compte tenu de l'effacement des marques et du remplacement de nombreux bois au XIX<sup>e</sup> s., il semble que la répartition soit identique par rapport à celle de la première série.

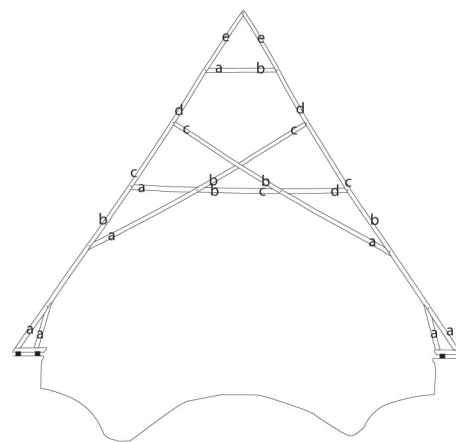
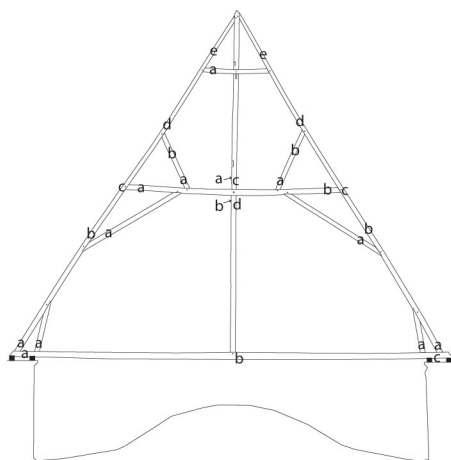
L'hypothèse d'une troisième série, amorcée en F56, marquée I, ne repose que sur de faibles indices en raison de la conservation d'une seule ferme du fait de la reprise des fermes suivantes quelques années plus tard. La ferme 56 semble prolonger le principe de marquage des deux séries précédentes : au nord, on passe successivement des marques aux traits simples (1<sup>re</sup> série) à celles aux traits barrés (2<sup>e</sup> série) puis à celles aux traits doublement barrés (F56 : 3<sup>e</sup> série), alors qu'au sud, on passe des marques avec une langue de vipère (1<sup>re</sup> série) à celles à deux langues de vipères (2<sup>e</sup> série) puis à celles avec un bec (F56). Le peu de marques relevées sur F56 ne permet pas cependant de bien connaître leur partition par rapport aux précédentes.

Fig. 35 : Tableau des marques d'assemblages des fermes principales (relevé : F. Epaut).

Ferme secondaire	Nord												Sud												
	Jambe de force	Chevron					Echarpe Sud		Entrait Retroussé		Echarpe nord*	Faux- entrait	Jambe de force	Chevron					Echarpe nord		Entrait retroussé	Echarpe sud*	Faux- entrait		
		a	a	b	c	d	e	a	b	a	b	c		a	a	a	b	c	d	e	a	b	c	d	c
17	//		//				//								//				//			//			//
18	?		///				///																		
19	///		///				///	///				///		///				///							
20			V				V	V				V		V				V							
22	\\		\\				\\					\\													
23	\\	\\	\\				\\					\\	\\	\\				\\			\\		\\	\\	\\
24		\\	\\	\\			\\	\\				\\		\\	\\	\\		\\			\\				\\
25	X	X	X				X	X					X	?	X			X							
27	X	X					X	X					Y X	Y X	Y X			Y X			X Y		X Y	X Y	X Y
28	X	X	X				X	X				X	Y  X	Y  X	Y  X			Y  X							
29	X	X	X				X						Y    X	Y    X	Y    X			Y    X			Y    X		Y    X	Y    X	Y    X
30			X/				X/	X/				X/		X/	X/	X/		X/							
32	\\X	\\X	?				\\X	\\X					Y\\X		Y\\X			Y\\X			Y\\X		X\\X	X\\X	X\\X
33	\\X	\\X	\\X				\\X	\\X				\\X	Y\\X	?	Y\\X			Y\\X			Y\\X				
34	\\X	\\X	\\X				\\X						Y\\X	Y\\X	Y\\X			Y\\X			Y\\X		X\\X	X\\X	X\\X
35	XX	XX		XX			XX	XX																	
37	†	†	†				†	†				†	?	Y/	Y/			Y/			Y/				
38	†	†	†				†	†				†	Y/	?	?			Y/			Y/				
39	††	††					††						Y/	?		Y/		Y/			Y/		Y/	Y/	Y/
40		?					Y						?					Y			Y		?	?	?
42	V	?											?					V Y			V Y		?	?	?
43	?	††V					††V						V Y	?				V Y			V Y		Y V	Y V	Y V
44	††V	?					††V						Y V	?				V Y			Y V		V Y	V Y	V Y
45	X	X					X							X				X			X		X	X	X
47	†X	†X					†X						Y X	?				Y X			Y X		Y X	Y X	Y X
48	X†	††X					††X						?	?				X Y			X Y		X Y	X Y	X Y
49	X††	X††					X††						?	?				X Y			X Y		X Y	X Y	X Y
50	X/	X/					X/						?	X/				X/			X/		X/	X/	X/
52	X//	X//					X											X/Y			X/Y		X/Y	X/Y	X/Y
53	††X	††X					††X	††X				††X	††X	††X	††X			††X			?		††X	††X	††X
54	††X						††X						††X					††X			††X		††X	††X	††X
55	?						XX	XX				XX						XX							
57*	?						?	#	#	#	#	#	X///					?							
58*	#						#	#	#	#	#	#													
59	†						†					†						?			†		†	†	†
60	††						††	††	††		7X\	†						X††			†	?	†	†	†
61	?						††		††			††													?
63*	?		X				X	X	Y	Y		?	///					X	X	X	X				
64	†						X		X			X	///					X			X				
65*	†						X	?	X			X	/					X			X				
66*			X†				X†	†X	†X	†X		X†	V   †					X†	X†	X†	X†				

Fig. 36 : Tableau des marques d'assemblages des fermes secondaires (relevé : F. Epaud).





Relevé et DAO : F. Epaud

**Fig. 37 :** Schéma de répartition des marques sur les fermes principales et secondaires (relevé et DAO : F. Epaud).



**Fig. 38 :** Marque XVI avec une langue de vipère comme contre-marque, F51 (Cl. F. Epaud).



**Fig. 39 :** Marque III avec une double contre-marque, au droit d'un assemblage, F58 (Cl. F. Epaud).

Ce qui permet toutefois de confirmer l'idée que F56 appartient à une série qui prolonge les deux précédentes est la suite numérique des marques inscrites sur la face nord des poinçons, destinées aux liernes basses du dispositif longitudinal axial. Cette suite débute à F16 marquée III et progresse vers l'est jusqu'à F56 marquée IX (= 11), sans discontinuité. Elle ne se rencontre pas sur les poinçons des fermes suivantes. Cette série prouve qu'avant F16, dans la partie disparue entre les deux tours, la charpente d'origine possédait deux fermes principales avec un poinçon marqué respectivement I et II. Cette série qui inclut F56 dans sa numérotation témoigne donc que toutes les fermes comprises du pignon occidental jusqu'à F56 et certainement au-delà (travées est démontées) ont été exécutées avec un plan de marquage cohérent, composé d'une série continue pour le contreventement axial, et au

moins trois séries discontinues pour les fermes, dont deux de vingt fermes.

#### Le deuxième marquage (F57-F67)

Il débute en F57 marquée II et progresse vers l'est jusqu'à la dernière ferme conservée (F67) marquée XII. Cette partie correspond à la charpente reprise en 1262, après démontage de la charpente d'origine (1256) et réemploi de ses éléments. Dans la partie sud des fermes, les marques sont simples tandis qu'au nord, elles sont contre-marquées par deux petits traits inscrits sur un I ou un V (Fig. 39).

Nous supposons que la ferme 56 n'appartient pas à cette phase de reconstruction, malgré le fait qu'elle corresponde au début de la numérotation. En effet, les bois de la partie sud de F56 sont mar-

qués d'un I contremarqué avec un bec. Or, ce bec ne se retrouve pas dans les marques des fermes suivantes sauf sur un bois en réemploi (jambe de force nord de F60) marqué III avec un bec, provenant de la charpente antérieure. Dans la partie nord de F56, les signes sont contremarqués par deux traits, comme sur les fermes suivantes. Il semblerait donc que, lorsque la charpente a été refaite en 1262, les charpentiers aient repris la numérotation à partir de F56 déjà marquée I, en ne conservant toutefois que la contremarque de la partie nord. En effet, il n'était pas nécessaire de conserver l'autre contremarque en bec au sud puisqu'il n'y avait pas de risque de confusion avec d'autres lots de bois déjà marqués de I à XX, contrairement au premier marquage où chaque lot de 20 fermes se devait d'avoir son système de contremarque.

La répartition des marques sur les bois se distingue bien des précédentes malgré les moises qui dissimulent celles des chevrons. Les écharpes hautes et les aisseliers dans les fermes secondaires sont marqués en pied ce qui multiplie le marquage sur l'entrait retroussé qui lui est, par ailleurs, inscrit aux deux extrémités. Le faux entrait est toutefois marqué préférentiellement au nord. Quant aux fermes principales F62 et F67, trop de bois sont masqués ou remplacés pour en déduire quoique ce soit.

## 9. INTERPRÉTATIONS

Nous avons vu plus haut que l'on dénombrerait au minimum 21 saisons d'abattage, étalées entre 1230 et 1262, et regroupées en quatre périodes durant lesquelles les bois ont été coupés en continu, surtout en automne-hiver : 1230-1233 ; 1236-1244 ; 1253-1255 ; 1259-1262 avec notamment deux grandes campagnes de coupe pendant lesquelles la majorité des arbres ont été abattus : 1240-1244 et en automne-hiver 1254-1255. Les bois abattus entre 1230 et 1244 sont éparpillés dans la structure sans concentration particulière et se rencontrent aussi bien dans des fermes principales que dans des fermes secondaires. Ceux abattus entre 1230 et 1232 sont toutefois minoritaires et semblent donc provenir d'un stock plus ancien. Les bois de la campagne d'abattage suivante, entre 1253 et 1255, apparaissent davantage dans les fermes principales mais certains ont été utilisés aussi dans quelques fermes secondaires (F55). Donc, là aussi, il y a dispersion et non reprise postérieure de la structure, même si ces bois ont été préférentiellement employés pour les fermes principales. Les bois provenant du dis-

positif longitudinal axial et du contreventement des chevrons, retrouvés dans les fourrures des chevrons sont datés de 1255. L'ensemble des bois destinés au contreventement de la charpente provient donc de cette même coupe d'abattage. Enfin, les bois abattus entre 1259 et 1262 se concentrent dans les deux dernières travées orientales (F57-F67), au niveau du chevronnage et des fermes principales, en complément des bois réemployés, abattus avant 1243.

Au regard de ces datations et de l'analyse des structures et des marquages de la charpente, on en déduit deux campagnes de mise en œuvre. La première aurait été réalisée en 1256, ou très peu de temps après, et aurait concerné l'ensemble de la charpente de la nef avec des stocks de bois abattus entre 1230 et 1256. La seconde phase serait intervenue en 1262 et correspondrait à une reprise des deux dernières travées orientales et probablement aussi des travées suivantes, remplacées par la charpente du XVIII<sup>e</sup> s. Cette reprise aurait consisté à un remontage de la charpente selon une structure presque identique à la précédente, avec des bois nouvellement abattus pour le chevronnage et les pièces maîtresses des fermes principales, en complément des réemplois des fermes primitives.

### Le chantier de 1256

La première phase de mise en place de 1256 concernerait toute la nef, intégrant aussi les travées qui ont été démontées plus tard en 1262. D'après les analyses dendrochronologiques réalisées sur la charpente du chœur, celle-ci aurait été levée aussi en 1257<sup>39</sup>. Il est donc fort probable que toute la grande charpente de la cathédrale a été posée en une seule et même campagne en 1256-1257, en deux ans environ.

Le marquage des bois est cohérent sur toute la nef jusqu'à la reprise de 1262 en F57, avec trois séries continues qui se succèdent et un système raisonné et fonctionnel de contremarques qui suppose une exploitation commune de tous ces bois. Le marquage des poinçons dans une série continue, destinée au contreventement axial, témoigne bien de leur contemporanéité avec ce dispositif longitudinal dont les bois sont datés de 1254-1255. Par ailleurs, le contreventement des chevrons (longrine vers 1255), reliant toutes les fermes de la nef avant la réfection des deux travées orientales, ne pouvait être réalisé qu'au sol, avant

39. Dans l'attente d'une prochaine étude sur la charpente du chœur, on ignore encore si les abattages des bois ont commencé avec ceux de la nef, dès 1230.

le levage des fermes, et non après coup. La mise en place des longrines, comme du contreventement axial, a donc été faite en même temps que les fermes principales et secondaires, en une seule campagne de mise en œuvre, sur toute la nef.

#### Différence de structure entre les fermes et approvisionnement du chantier

Pourquoi observe-t-on une différence de structure entre les fermes principales et secondaires, sachant que, à notre connaissance, aucune charpente médiévale, montée en une seule phase, ne présente cette distinction puisque toutes les fermes sont réalisées à partir d'une même épure ? Nous aurions dû logiquement avoir des fermes principales dotées d'une croisée d'écharpes ou bien des fermes secondaires avec aisseliers et contrefiches.

Les abattages des bois de la nef, et probablement aussi du chœur, ont été anticipés 26 ans avant leur mise en œuvre en 1256, avec des gabarits de grumes prédéterminés. Nous avons vu que la charpente utilise trois mesures distinctes (22 cm, 25 cm et 34 cm) pour toutes ses pièces et que les bois abattus selon ces diamètres ont été équarris précisément sans variation de leur section. Cette homogénéité des mesures des bois, pour chaque type de pièces, prouve que les arbres ont été sélectionnés sur pied selon des mesures qui ont été respectées pour toutes les coupes d'abattage. Le projet et la structure générale de la charpente, avec des fermes dotées d'une grande croisée d'écharpes, ont donc été conçus dès les premières coupes, en 1230. Il est probable que ce projet de charpente prévoyait, dès les premiers abattages, des fermes principales pourvues d'une croisée d'écharpes, et aucun contreventement des fermes, comme on le voit fréquemment à cette période dans de nombreux édifices.

Vers le milieu du XIII<sup>e</sup> s., avec le développement des dispositifs de contreventement longitudinaux dans les grandes charpentes comme à la cathédrale de Tours vers 1250-1270, le maître d'œuvre, qui a dû être remplacé depuis 1230, a modifié le projet initial pour adopter un contreventement axial et un autre dans le plan des chevrons. Pour pouvoir insérer dans la structure ce dispositif, avec des liernes inférieures et supérieures raidies par des grands liens obliques, les écharpes des fermes représentaient un obstacle majeur du fait notamment du faible espacement des fermes. Il était en effet impossible de faire passer les liens du contreventement au niveau des fermes principales. Le maître d'œuvre aurait

donc modifié la structure des fermes principales, remplaçant les écharpes par des aisseliers et des contrefiches, pour pouvoir y insérer les grands liens du contreventement. Cette modification du projet des fermes principales est intervenue tardivement dans le programme des abattages puisque les bois provenant de la dernière coupe, en 1253-1255, peu de temps avant le levage, ont été consacrés majoritairement à la réalisation des fermes principales, en complément d'autres bois abattus dix ans plus tôt. De même, tous les bois destinés au contreventement longitudinal axial et aux longrines du contreventement des chevrons proviennent des derniers abattages, ce qui suppose, là aussi, une conception et une exécution tardive de ces dispositifs. Ce changement de parti, lié à l'adoption tardive des dispositifs de contreventement, expliquerait donc la différence de structure des fermes principales et les abattages tardifs destinés à ces éléments.

Par ailleurs, il faut exclure l'hypothèse selon laquelle les fermes auraient été taillées après chaque campagne d'abattage, avec un stockage progressif des fermes dans l'attente du levage. En effet, cela supposerait, d'une part, que nous eussions des lots de fermes constitués avec des bois abattus aux mêmes dates, ce qui n'est pas le cas puisque la plupart des fermes sont constituées de façon hétérogène avec des bois provenant des différentes campagnes d'abattage. D'autre part, le marquage des fermes est cohérent sur toute cette charpente. L'exécution des fermes après chaque campagne d'abattage aurait donc dû respecter un même plan marquage des bois pendant 26 ans, ce qui paraît très improbable.

#### L'approvisionnement du chantier en bois d'œuvre

D'après les analyses dendrochronologiques, les abattages des bois pour la charpente de la nef ont commencé dès le début du chantier de la nef vers 1230 et se sont poursuivis par intermittence jusqu'au printemps 1256. L'étalement dans le temps des coupes d'abattage correspond donc à une organisation de chantier planifiée de longue date et une gestion raisonnée des stocks de bois. Si dans la plupart des cas, la date d'abattage des bois précède de peu leur mise en œuvre et le levage de la charpente, ici il n'en est rien, probablement en raison de l'ampleur du chantier et des conditions d'approvisionnement en bois d'œuvre. La construction vraisemblablement simultanée des charpentes de la nef et du chœur suppose l'abattage d'au moins 900 arbres. À l'achèvement du vaisseau principal, réunir



autant de bois de qualité, de grande longueur et de même diamètre pour 93 % d'entre eux, devait paraître inenvisageable pour des raisons financières ou de capacité des ressources forestières aux alentours de Bourges. L'approvisionnement en bois d'œuvre du chantier a donc été prévu sur le très long terme, dès le début du chantier de la nef, avec un financement discontinu sur 26 ans qui aurait pu bénéficier d'un appel aux dons. Les différentes campagnes d'abattage pourraient, dès lors, être liées à des donations ponctuelles de bois à prélever ou à de courtes concessions de parcelles forestières, correspondant à des libéralités occasionnelles. Un cas analogue est attesté à la cathédrale de Tours, pour la charpente du chœur dont les bois ont été abattus et stockés entre le début du chantier vers 1230d et son achèvement vers 1265d. D'après les analyses dendrochronologiques (*Charpentes* 2002 : 168), plusieurs campagnes d'abattages se sont succédé dans cet intervalle (1230d, 1245d, 1255d, 1260d et 1265d), liées à des donations ponctuelles dont l'une est mentionnée dans un texte (JACQUET 2003 : 378) qui relate un don du roi de deux arpents de bois (1,2 ha) en 1243, correspondant vraisemblablement à la coupe de 1245d. Plus tard, en 1279, lors de la construction des charpentes du transept de la cathédrale de Tours, le maître d'œuvre et un certain Lucas, dit le Bûcheron, achètent au doyen et aux chanoines une concession de 5 ans de 34 arpents (20,4 ha) de forêts pour en exploiter et enlever la totalité des bois (ANDRAULT-SCHMITT 2010 : 98).

Ce mode d'exploitation, par intermittence, expliquerait ces multiples campagnes de coupes de bois dont on a vu qu'elles correspondaient, pour certaines, à des lots d'arbres d'âges homogènes et donc, probablement, à différentes parcelles de forêts équiennes. Dans ce cas, dès le début du chantier de la nef, l'approvisionnement du chantier en bois d'œuvre aurait bénéficié d'un appel à des dons de bois ou de concessions dans différentes parcelles forestières qui auraient été exploitées rapidement, obligeant la fabrique à stocker ces bois dans l'attente de l'achèvement de la nef.

#### Le stockage des bois

Les cas de stockage sont rares et se rencontrent généralement sur de vastes chantiers. Dans la plupart des cas, le stockage est lié au surplus d'un chantier qui est utilisé plusieurs années après pour une autre partie de l'édifice comme à la cathédrale de Bayeux (Calvados), sur le bras nord du transept où un lot

de bois de 1218d, provenant du surplus d'un précédent chantier, est venu compléter les bois abattus en 1250d (EPAUD 2007 : 40). Un cas similaire a été repéré à la cathédrale de Liège où des bois provenant du surplus du chantier du transept, vers 1251d, ont été employés 50 ans plus tard, pour la construction des travées orientales de la nef en 1300d (HOFFSUMMER 1989 : 230 et HOFFSUMMER (dir.) 2002 : 194). À Bourges, les bois ne proviennent pas d'un surplus mais d'une série d'abattages étalée sur 26 ans. Ce cas de figure s'observe aussi à la cathédrale de Tours, évoquée ci-dessus, où la charpente du chœur est exécutée en 1265d avec des bois issus de stocks constitués sur plusieurs décennies.

La question que soulève un stockage sur plusieurs décennies est le risque de perte de résistance mécanique du bois liée au pourrissement par les champignons lignicoles et les insectes xylophages. De plus, l'équarrissage et la taille des assemblages doivent préférentiellement être réalisés sur un bois frais ou qui a conservé un taux d'humidité élevé car le travail à la hache sur un chêne dur et sec est extrêmement contraignant pour le charpentier et les outils. Comment les bois abattus ont-ils alors été stockés durant ces 26 années et dans quelles conditions ? Ont-ils été équarris après leur abattage et stockés dans l'attente de la taille des assemblages et de leur mise en œuvre en 1256, ou ont-ils été entreposés à l'état de grume ?

Deux indices permettent d'y répondre. Le premier est la déformation des marques d'assemblage par le retrait du bois et les fentes de séchage, observable sur tous les bois, notamment sur ceux abattus lors des premières coupes (Fig. 40), ce qui prouve que le séchage s'est effectué après l'exécution et la mise en place des fermes. Les bois n'ont donc pas été stockés équarris sinon les marques recouperaient les fentes de dessiccation, et non l'inverse. Le second indice est lié au fait que l'équarrissage de nombreux bois a été forcé et que ces derniers ne sont pas déformés ou vrillés. Lorsque un bois est équarri jusqu'au cœur sur une grande longueur pour le désépaissir ou pour supprimer une courbe naturelle suite à la rectification du profil, le bois "tire à cœur" au séchage et se bombe du côté du cœur en se fissurant. Il a surtout tendance à se vriller et se déformer s'il n'est pas tenu par ses assemblages. Ici, les bois fortement équarris ne se sont pas vrillés ce qui suppose que la mise en place a suivi de près l'équarrissage. Par conséquent, il semble que tous les bois de cette charpente ont été stockés à l'état de grume, dans l'attente du chantier. Cependant, lorsqu'une grume est stockée avec son écorce pendant plusieurs an-



Fig. 40 : Marque de l'entrait retroussé de F28 (1241-1243d) recoupée par une fente de dessiccation (Cl. F. Epaud).

nées, le bois subit la fermentation de sa cellulose et une modification de sa composition chimique qui entraîne une perte d'élasticité, une réduction de poids et surtout une décomposition de l'aubier. Or, les bois ont une bonne tenue mécanique et tous les aubiers sont durs et bien conservés, même sur les bois stockés pendant plus de 20 ans. Les grumes auraient donc été écorcées peu après l'abattage. En effet, l'écorçage entraîne une chute de la teneur en humidité dans l'aubier et empêche ainsi les infections fongiques. Il permet de limiter la fermentation et l'échauffement du bois, assurant ainsi une préservation sur le long terme des qualités mécaniques du bois et, indirectement, la conservation de l'aubier<sup>40</sup>. De plus, le stockage de grumes écorcées dans un endroit ombragé, humide et de vent faible aurait permis de maintenir une teneur en eau interne suffisante pour favoriser la taille à la hache plusieurs années après l'abattage<sup>41</sup>. Cependant, pour des raisons de logistique, il est plus probable que les bois, après leur abattage et le dégagement de la parcelle, aient été transportés à proximité du chantier sur une aire de stockage au sec, à l'abri des intempéries, afin de limiter les attaques fongiques et des insectes lignivores.

40. Je remercie Jean-Michel Huré, forestier à Treigny (Yonne), pour ces renseignements. L'empilement de grumes écorcées est aujourd'hui considéré comme le procédé de stockage le plus écologique et le plus économique (CTBA 2004).

41. Une humidité des bois soit très haute (taux d'humidité supérieur à 80 % : manque d'oxygène) soit basse (teneur en humidité du bois inférieur à 30 % : bois trop sec) est la meilleure protection contre les attaques de champignons.



Fig. 41 : Chevron nord de F52, abattu en 1238. Trace d'incendie sur l'arête, recoupée par l'équarrissage (Cl. F. Epaud).

En plusieurs endroits de la charpente, sur plusieurs bois dispersés dans la structure<sup>42</sup> et isolés entre eux, dont trois datés de 1230d, 1238d et 1243d, on observe des traces de carbonisation liées à l'action du feu (Fig. 41). Sur chacun de ces bois, la carbonisation des fibres est recoupée par l'équarrissage. Ces bois ont donc brûlé avant leur équarrissage et leur mise en œuvre, lorsqu'ils étaient encore à l'état de grume. Il est peu probable que cet incendie ait pu se produire en forêt lorsque les arbres étaient encore sur pied car les traces de carbonisation sont parfois ponctuelles, localisées en tête des bois et un incendie en forêt aurait consumé toute la hauteur du tronc. Par ailleurs, il est très improbable

42. F34, chevron sud ; F40, chevron sud ; F42, chevron nord et entrait retroussé (1243BF) ; F45, écharpe nord ; F 49, écharpe nord (1230BF) ; F 52, chevron nord (1238) ; F53, écharpe sud (1238BF) ; F58, faux entrait, face supérieure (réemployé).

que des bois abattus distinctement aient pu subir chacun un incendie et se retrouver dans cette charpente. Il est donc plus vraisemblable que ces pièces proviennent d'un unique lot de grumes, constitué à partir de différentes campagnes d'abattage et qui aurait subi un incendie partiel et accidentel, avant leur mise en œuvre en 1256. Ce lot incendié, de bois issus d'abattages distincts, suppose donc un regroupement des grumes sur une aire commune de stockage, dans un parc<sup>43</sup> en forêt, un entrepôt ou *in fine* sur le chantier même, pour libérer les parcelles exploitées et assurer la maintenance des bois et de leur condition de conservation.

Il n'est pas à exclure l'hypothèse d'un stockage des grumes par immersion dans une réserve d'eau, comme un étang. Les champignons lignicoles et les insectes xylophages étant des organismes aérobies, le trempage des grumes dans l'eau permet ainsi de les prémunir de toute attaque, pour une durée illimitée, tout en préservant leurs propriétés mécaniques pour la taille et le fonctionnement de la charpente. Cette hypothèse suppose toutefois un transport supplémentaire des bois jusqu'au lieu d'immersion et la possibilité de vider le réservoir d'eau pour la récupération des grumes, dont la quantité est estimée à plus de 300, exception faite des bois abattus juste avant le chantier. Cependant, un bois stocké dans l'eau pendant plusieurs années présente une coloration foncée sur sa superficie, ce qui n'est observé sur aucun des aubiers des bois de la charpente, ceux-ci étant tous identiques entre ceux abattus en 1230d et en 1256d.

#### Le levage de la charpente

Sur la nef, les marques sont inscrites sur la face ouest des fermes et le chevillage est orienté de l'ouest vers l'est. Les entures crantées des liernes basses du contreventement axial s'assemblent selon un sens de montage ouest-est. Tous les indices concordent donc pour considérer que les fermes ont été levées à partir du pignon occidental avec une progression vers l'est.

Nous suggérons qu'un plancher de travail était mis en place en haut des murs, au niveau des

sablières, posé sur un échafaudage en encorbellement sur les gouttereaux, sur une ou deux travées. Les bois étaient montés un à un jusqu'à ce plancher de travail, depuis l'intérieur du vaisseau principal, par un engin de levage amovible qui suivait la progression du chantier. Les bois étaient ensuite assemblés sur ce plancher pour constituer une ferme en fonction de leur marque, et chevillés. Le sens d'enfoncement des chevilles témoigne ainsi du sens de levage des fermes. Une fois la ferme constituée sur ce plancher, on procédait à son levage à l'aide d'une grande chèvre pour la première, puis en fixant les cordages en tête des fermes déjà levées pour dresser les suivantes. Toutes les fermes étaient ainsi levées une par une, en reculant progressivement le plancher de travail vers l'est. Les liernes hautes du contreventement axial étaient mises en place avec chaque ferme principale à l'issue du montage d'une travée tandis que les liernes basses et les écharpes étaient montées après coup, sur plusieurs travées constituées, d'où leurs assemblages à mi-bois. Les longrines du contreventement des chevrons étaient elles aussi montées une fois que les fermes à étré-sillonner étaient levées.

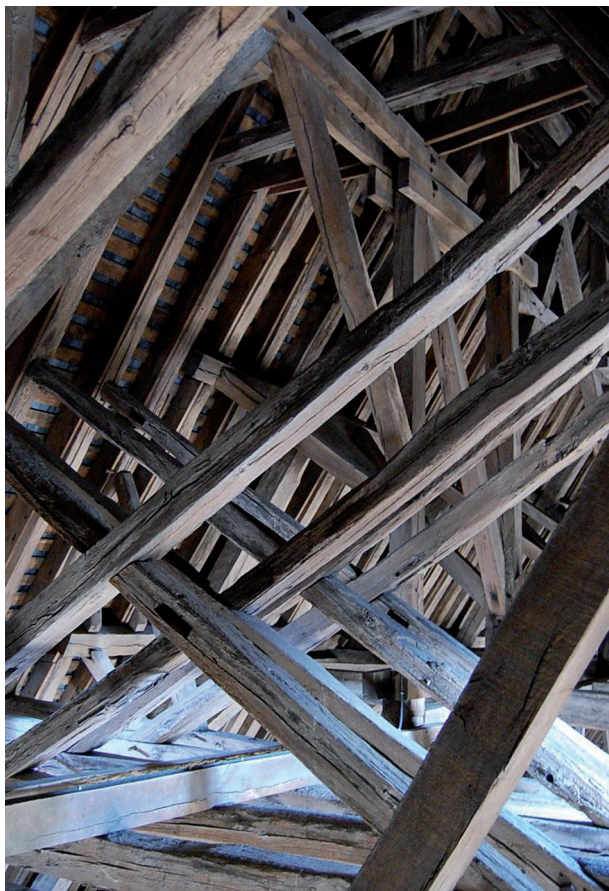
Plusieurs raisons attestent que les voûtes sexpartites de la nef et du chœur ont été construites après l'achèvement de la charpente. Outre les problèmes de poussées qui supposent une mise en œuvre commune de toutes ces voûtes une fois l'ensemble du vaisseau achevé, l'absence des voûtes jusqu'à la fin du chantier de la nef permettait de garantir le levage des bois depuis l'intérieur suivant la progression du montage de la charpente, vers le chœur. Cela permettait également d'établir l'échafaudage du plancher de travail qui venait en appui sur les gouttereaux ou jusqu'au sol, ce qui n'aurait jamais été permis en présence des voûtes.

#### Le chantier de 1262

Dès 1259, soit trois ans après le levage de la charpente de la nef et, vraisemblablement, de celle du chœur, des bois ont été abattus en prévision d'une reprise de la structure à l'aplomb de la quatrième travée des voûtes sexpartites, situé juste après F67. Les abattages ont duré jusqu'au printemps 1262, date à laquelle nous plaçons le début du chantier. Il pourrait être lié à la mise en œuvre d'une flèche au droit de la 7<sup>e</sup> pile, à l'aplomb du centre de la 4<sup>e</sup> voûte sexpartite et d'un faux-transept que nous situons entre les piles 6 et 8.

43. Dans de nombreuses régions (Centre, Normandie, Bourgogne...), des enceintes quadrangulaires fossoyées avec talus, de 40 à 120 ha, situées en forêt et datées des XII<sup>e</sup>-XIII<sup>e</sup> s., servaient de réserve à gibier, de lieux de pacage d'animaux saisis en délit dans la forêt et, probablement, de parc de gestion et d'exploitation de la forêt (LEFÈVRE 2003 et JACQUET 2003 : 218).





**Fig. 42 :** Réemploi des bois de la première campagne (1256) dans les fermes de la deuxième campagne (1262) (Cl. F. Epaud).

Pour cette construction, le maître charpentier aurait déposé les fermes de plusieurs travées de charpente, à partir de F57 et dont l'emprise au-delà de F67 est difficile à délimiter en raison de la reconstruction de 1747, afin d'établir un plancher de travail pour le levage des fermes des toitures transversales et de la flèche. Après l'achèvement de ces ouvrages, les fermes attenantes F57-F67 ont été remontées en réemployant des bois des fermes d'origine. Cette reconstruction réemploie, pour certaines fermes secondaires, des chevrons et quelques écharpes des fermes démontées, pour le raidissement des nouveaux chevrons (Fig. 42). La structure de ces fermes s'en est retrouvée modifiée avec le remplacement des grandes écharpes par des aisseliers et des contrefiches. De même, les fermes principales ont une structure similaire à celle des fermes précédentes à l'exception des assemblages des faux entrails au poinçon qui témoignent d'une certaine maladresse en termes de



**Fig. 43 :** Greffe de la tête du chevron de F56 (Cl. F. Epaud).

conception et d'équilibre des charges (voir plus haut). Le contreventement axial a été reproduit à l'identique tandis que celui des chevrons n'a pas été rétabli.

Le marquage de ces nouvelles fermes se distingue du précédent par une répartition différente des marques sur les bois et une numérotation qui se veut dans la continuité des précédentes mais avec un système de contremarque qui trahit une gestion bien plus restreinte de fermes à lever.

Les opérations de levage de cette charpente ont provoqué, pour des raisons qui nous échappent, l'amputation des parties sommitales des fermes limitrophes (F56 à F54) et leur réparation par une greffe assemblée par un long tenon-mortaise (Fig. 43). Il est possible d'envisager aussi que ces bois n'étaient pas suffisamment longs, nécessitant ainsi une greffe mais comment expliquer alors qu'ils soient tous concentrés en ce point et non dispersés dans la charpente ?





Fig. 44 : Miniature de Jean Colombe, Heures de Laval (Bnf ms fr. 920) n° 315, vers 1480, tiré de ROGER, GAUCHERY 1916 : pl. III.

L'existence d'une flèche et d'un faux-transept en cet endroit est attestée en 1412-1416 dans la miniature de l'Adoration des Mages, attribuée à Paul de Limbourg, des *Très riches Heures du Duc de Berry*<sup>44</sup> (Fig. 6) et la miniature de Jean Colombe n° 315 des *Heures de Laval*<sup>45</sup> (Fig. 44) exécutée vers 1480. Les textes mentionnent le démontage de cette flèche en 1539, pour cause de vétusté et sa reconstruction entre 1540 et 1542<sup>46</sup>.

44. *Très Riches Heures du Duc de Berry*, folio 52, *Adoration des Mages*, miniature enluminée attribuée aux Frères LIMBOURG, 1416, Chantilly, Musée Condé.

45. *Heures de Laval* (Bnf ms. Fr. 920).

46. Arch. Départ. du Cher : 8 G 1068.

Il est probable que le faux-transept fut également refait lors de ce chantier comme semble le prouver certaines représentations d'époque moderne (Fig. 45). Ce faux-transept ainsi que la flèche furent définitivement supprimés, là encore en raison de leur mauvais état, et remplacés en 1747 par une charpente à deux versants réunissant les toitures de la nef et du chœur. Cette nouvelle charpente contient en réemploi de nombreux bois datés par dendrochronologie après 1527d provenant de cette flèche et du faux-transept. Cette hypothèse suppose donc que la cathédrale fut dotée, peu après l'achèvement des grandes toitures, d'une flèche et d'un faux transept alors que, jusqu'à présent, ces ouvrages étaient attribués à la fin du XIV<sup>e</sup> s. ou au XV<sup>e</sup> s. (ROGER, GAUCHERY 1916 : 177-199 et BRANNER 1962 : 71). Pour supporter l'ossature de cette flèche, on ajouta deux arcs diaphragmes à doubles rouleaux au-dessus de la voûte sexpartite, au droit de la 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> pile. De même, pour reprendre la poussée de ces arcs et aussi pour supporter les pignons du faux-transept sur les gouttereaux, les arcs-boutants de ces piles reçurent chacun un troisième arc, lesquels furent conservés jusqu'aux restaurations du début du XIX<sup>e</sup> s. (Fig. 46).

## 10. LA COUVERTURE

Dans la partie refaite en 1262, plusieurs chevrons réemployés, provenant de la charpente mise en place en 1256, montrent leur ancienne face externe avec les traces de fixation du lattis des matériaux de couverture (Fig. 47). Ces traces sont précieuses archéologiquement car elles n'ont pas été remaniées ultérieurement et témoignent de la couverture posée sur ce chevronnage entre 1256 et 1262. Ces chevrons réemployés montrent des rangées d'un ou de deux clous, espacées en moyenne de 11,7 cm, avec un écart type de 1,2 cm. Cet espacement du lattis ne semble pas correspondre à celui requis pour des tables de plomb comme à la cathédrale de Rouen, vers 1230, où les voliges sont clouées tous les 18 cm. Il est cependant adapté à des grandes tuiles puisque l'entrevous du lattis correspond au recouvrement du tiers de la tuile, soit au pureau apparent. Les tuiles de cette couverture avaient donc une longueur de 35 cm. Dans le comble d'un collatéral de la nef, un fragment (14,5 x 10 x 1,7 cm) d'une tuile recouverte d'une glaçure brun-vert a été retrouvé en 1996 (FÉRAUGE, MIGNEREY 1996 : 148) mais rien ne permet de le rattacher à la couverture d'origine.



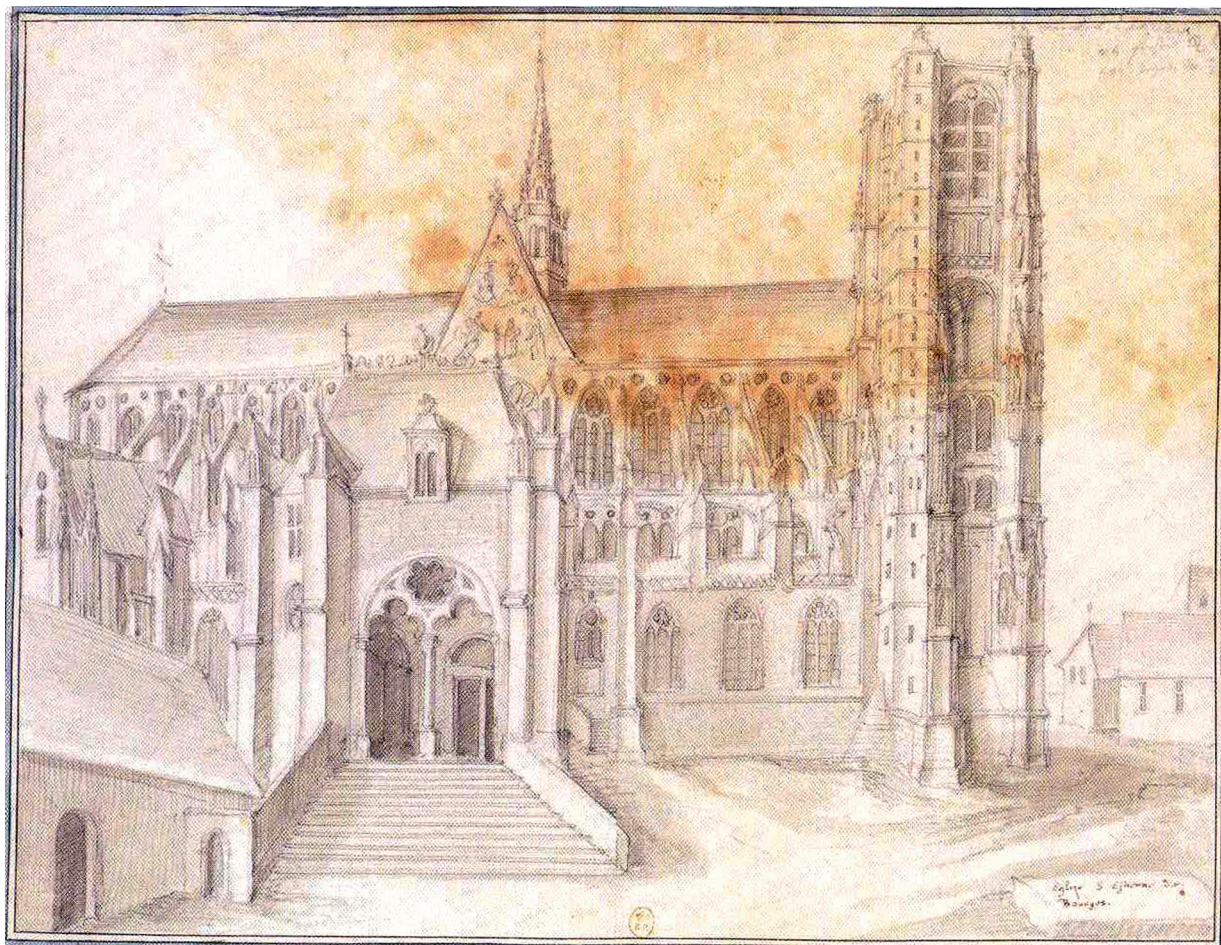


Fig. 45 : Flanc nord de la cathédrale de Bourges. Dessin d'Etienne Martellange, vers 1621. Mine de plomb et lavis d'encre. Paris, (Bnf, département des Estampes et de la Photographie).

Ces grandes tuiles seraient comparables à celles identifiées sur d'autres grands édifices de cette période comme à la cathédrale de Lisieux pour la fin XII<sup>e</sup>-début XIII<sup>e</sup> s. (34 x 19 cm) (EPAUD 2007 : 384), à l'abbaye de Royaumont, dans le Val d'Oise, vers 1230 (35 x 21 cm) (EPAUD 2006), à la cathédrale de Meaux pour la seconde moitié du XIII<sup>e</sup> s. (32 x 19 cm) (TAUPIN 1996 : 46-53. QUERRÉ, BOUQUILLON 1995 : 62-67), et aussi à des tuiles retrouvées en fouille aux abords de la basilique de Saint-Denis (TAUPIN 1996 : 47). Ces grandes tuiles étaient tenues au moyen d'un gros tenon ou de deux chevilles en bois qui venaient en butée sur le lattis comme à Lisieux. Elles se distinguent donc de celles utilisées après le XIII<sup>e</sup> s. qui ont un plus petit format et une fixation systématique au crochet. Toutefois, dans certaines régions comme l'Avranchin, les grandes tuiles étaient encore fréquemment employées à l'époque moderne.

Cette couverture de tuiles ne semble pas perdurer au-delà du milieu du XVI<sup>e</sup> s. où des marchés mentionnent des ardoises sur le grand comble (HAMON 2002 : 19-30). La dernière reprise de la couverture, jusqu'à aujourd'hui, remonte à 1882 où fut appliqué le système des ardoises à crochet qui permettait son entretien.

#### 11. LA PLACE DE LA CHARPENTE DE BOURGES DANS L'ÉVOLUTION DES CHARPENTES DU XII<sup>e</sup> SIÈCLE

Les charpentes à structures tramées, dites gothiques, avec des travées de fermes secondaires, existent depuis le milieu du XII<sup>e</sup> s. et se sont largement diffusées durant la seconde moitié de ce siècle. Avec ces charpentes, sont apparus de nouveaux dispositifs de raidissement des chevrons, notamment les grandes écharpes associées à un entrait retroussé. Ces der-





**Fig. 46 :** Portail latéral nord avec vue, en arrière plan, des arcs-boutants des piles 7 et 8, pourvus d'une troisième arcade supérieure. Dessin de Hazé 1830, Album du Berry lithographié, dédié et présenté à S. A. R. Madame, duchesse de Berry, 1<sup>re</sup> partie, Bourges, tiré de ROGER, GAUCHERY 1916 : pl. I.

nières sont très fréquentes dans les charpentes de la seconde moitié du XII<sup>e</sup> s. - première moitié du XIII<sup>e</sup> s. et se rencontrent en région Centre aussi bien dans de petites structures, comme à Cour-Cheverny (environ 1159) et Monthou-sur-Cher (environ 1173) dans le Loir-et-Cher (*Charpentes* 2002) que dans des grandes charpentes comme à la cathédrale de Tours au milieu du XIII<sup>e</sup> s. Il en est de même dans les autres régions de la France septentrionale comme en Normandie sur la cathédrale de Bayeux (Fig. 48) entre 1223 et 1250, à l'abbaye de Fontaine-Guérard à Radepont (Eure) en 1216-1224d ou à la cathédrale de Rouen, en 1228d (EPAUD 2007 : 164 et 182). L'usage des écharpes semble se restreindre dans la seconde moitié du XIII<sup>e</sup> s. pour disparaître durant le XIV<sup>e</sup> s. où il s'observe encore sporadiquement comme sur la nef de la cathédrale d'Auxerre en 1357 (HOFFSUMMER (dir.) 2002 : 200). La structure des fermes secondaires de Bourges, avec ses assemblages à tenon-mortaise, correspond donc aux techniques en vigueur au XIII<sup>e</sup> s. pour cette région.

Nous avons déjà évoqué le fait qu'une différence dans le raidissement des chevrons entre fermes secondaires et fermes principales au sein d'une charpente est exceptionnelle au Moyen Âge et qu'elle devait résulter d'un décalage de conception entre ces fermes. Ces fermes principales présentent aussi une structure commune pour le milieu du XIII<sup>e</sup> s., avec la présence d'un poinçon, de faux entrails, de contrefiches et d'aiseliers, assemblés par tenon-mortaise, qui se rencontrent dans de nombreuses charpentes des XIII<sup>e</sup>-XIV<sup>e</sup> s. en France septentrionale comme sur le chœur de la cathédrale d'Auxerre ou l'église de la Madeleine de Troyes (HOFFSUMMER (dir.) 2002 : 169-195). De même pour le marquage des bois qui utilise un système à chiffres romains avec contremarques très courant pour cette période.

Ce qui est moins fréquent est le dispositif longitudinal axial, du moins dans sa forme, non dans sa fonction. De nombreuses grandes charpentes sont encore dépourvues de pièces longitudinales encore au milieu du XIII<sup>e</sup> s. On voit apparaître dès



**Fig. 47 :** Face supérieure d'un chevron de la première campagne (1256) réemployé en 1262, montrant les clous de fixation du lattis et l'entaille à mi-bois pour la longrine du contreventement du chevronnage (Cl. F. Epaud).

1220-1235 des dispositifs de report des charges des fermes secondaires sur les fermes principales, en partie basse des fermes, dans les cathédrales de Rouen, Paris, Auxerre, Meaux, à la collégiale de Mantes et aussi sur des granges abbatiales comme celle de Saint-Lazare de Beauvais. Vers le milieu du XIII<sup>e</sup> s., ces dispositifs se rencontrent à mi-hauteur des fermes, comme à la cathédrale de Tours vers 1255-1265, et leur conception semble bien maîtrisée avec exclusivement des tenons-mortaises. Celui de Bourges témoigne de nombreuses maladresses dans sa mise en œuvre avec sa lierne basse désaxée, reposant sur les entrails retroussés, et ses nombreux assemblages à mi-bois. S'il permet de soulager les fermes secondaires en partie haute, il assure également le contreventement des fermes alors même qu'elles bénéficient déjà d'un contreventement

dans le plan des chevrons. Il apparaît donc superflu, lourd et maladroitement conçu. Il contraste d'autant plus avec les contreventements bien plus légers de la seconde moitié du XIII<sup>e</sup> s. qui se développent en partie haute des fermes, avec un sous-faitage et des liens obliques, et qui n'assurent plus le soutien des fermes secondaires.

Quant au contreventement des fermes dans le plan des chevrons, il apparaît comme novateur car il est le premier attesté au XIII<sup>e</sup> s. Dans l'état actuel de la recherche, tous les autres observés dans des charpentes du XIII<sup>e</sup> s. sont considérés comme des rajouts tardifs comme par exemple celui de la charpente, datée de 1270, de la maison 13 rue des Changes à Chartres (CRMH 2002 : 177). Les études à venir confirmeront probablement que ces contreventements sont bien d'origine et qu'ils étaient vraisemblablement plus répandus à cette époque qu'il n'y paraît aujourd'hui.

## CONCLUSION

Le chantier de construction du chœur gothique débuta vers 1195 et progressa en trois phases qui s'articulent avec la démolition du chœur roman. L'achèvement de la première phase, c'est-à-dire l'église basse et ses couloirs d'accès, est attesté vers 1206 par la datation de couchis des voûtains du couloir nord. La construction de ces couloirs d'accès, que R. Branner attribuait à la fin du XIII<sup>e</sup> s., prouve que les ailes latérales du chœur roman, situées à leur emplacement, ont été démontées dès le début du chantier, et non lors de la deuxième phase comme l'avançaient J.-Y. Ribault et R. Branner. Par ailleurs, le réemploi d'éléments sculptés du XII<sup>e</sup> s. dans les bases d'un contrefort nord du chevet atteste la destruction d'élévations romanes dès l'origine du chantier. Il est même probable que l'ensemble du chœur roman a été démonté dès cette première phase, avec un transfert du culte dans la nef romane.

L'affectation au culte du chœur gothique est attestée par une charte en 1214 mais il apparaît que celui-ci est resté en partie inachevé jusqu'à la fin du chantier de la nef puisque sa grande charpente ne sera mise en place que vers 1257. Ses grandes voûtes sexpartites n'ont vraisemblablement pas été construites avant l'achèvement de la nef, puisqu'aucune structure à l'ouest ne permet de les contrebuter, ni la 8<sup>e</sup> pile qui reçoit leurs poussées.

Jusqu'en 1257, le vaisseau central du chœur fut donc couvert par une toiture provisoire. Il est



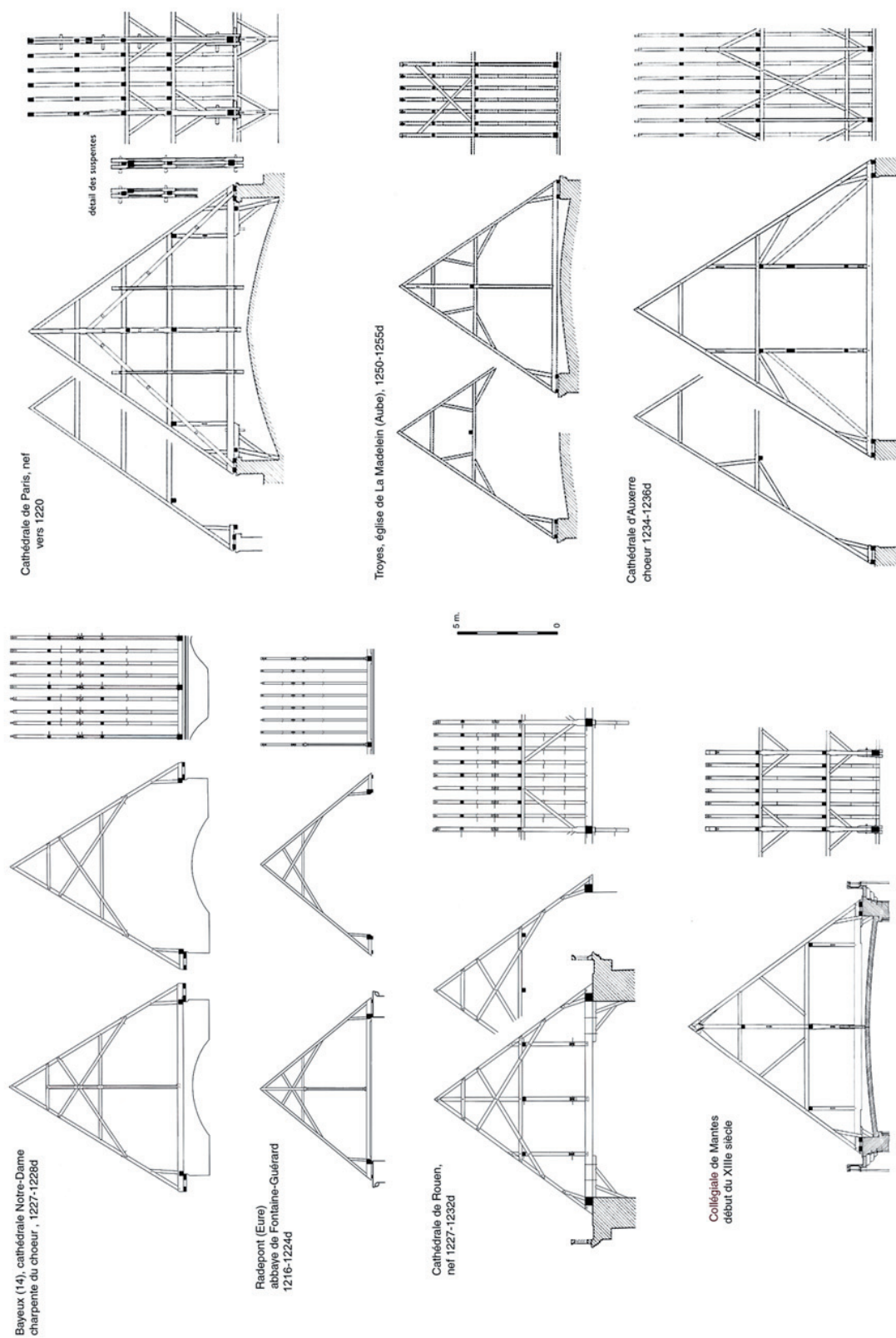


Fig. 48 : Charpentes à chevrons-formant-fermes du XII<sup>e</sup> s. (EPAUD 2007 et HOFFSUMMER 2002).



probable que cette charpente puisse être celle, en réemploi, de l'ancienne nef romane. En effet, celle-ci fut détruite à l'issue du chantier du chœur pour établir les fondations de la nef gothique et sa largeur est identique à celle du vaisseau gothique. Le réemploi provisoire de sa charpente aurait ainsi permis d'abriter le service du culte dans le chœur jusqu'à l'achèvement de la cathédrale. Une cloison provisoire fermait le chœur sur toute sa hauteur au droit de la 8<sup>e</sup> pile comme l'attestent des traces d'ancrage dans les joints des tambours de la 8<sup>e</sup> pile sud.

La nef a été construite conjointement aux deux tours de façade comme le confirme la datation du beffroi de la tour sud, achevé avec les parties hautes de la nef. Dès 1230, date à laquelle nous plaçons le début du chantier de la nef, on commença les abattages des bois pour la charpente du grand vaisseau de la nef et, vraisemblablement aussi pour la charpente du chœur, dont la mise en place ne se fera que 26 ans plus tard, en 1256-1257. Les abattages s'étalent sur toute cette période avec au moins 21 campagnes de coupes de bois d'âge homogène, dont deux importantes entre 1240 et 1244 et en automne-hiver 1254-1255, juste avant le levage. Ces coupes successives et intermittentes supposent un financement par des donations de bois ou de concessions dans différentes parcelles forestières qu'il fallait exploiter rapidement, nécessitant le stockage des grumes dans l'attente du chantier. Si tel était le cas, ces dons de bois répondaient aux besoins spécifiques d'un projet prédéfini, avec des bois calibrés pour un ouvrage déjà préconçu. En effet, dès 1230, ces abattages ont été réalisés suivant un programme de sélection des arbres, définissant les diamètres et les longueurs de fût, qui correspondait à un projet initial de la charpente. Pour la nef, 93 % des 380 arbres abattus ont un diamètre standard de 22 cm en pied et une longueur de fût de 14 m, contre 7 % de bois de fort diamètre, pour les entrails et les poinçons. On estime, pour l'ensemble du vaisseau principal de la cathédrale, une consommation de 900 chênes suivant les mêmes proportions. D'après leur morphologie et les analyses dendrologiques, ces bois ont été prélevés dans différentes hautes futaies homogènes et équiennes de chênes élancés et de maturité précoce, issues vraisemblablement de coupes blanches.

La conception de la structure à chevrons-formant-fermes de la charpente a été établie dès les premiers abattages, avec des fermes indépendantes raidies par une croisée écharpes. La réalisation

des premières fermes secondaires a dû commencer avec les stocks des bois abattus en 1240-1244, en respectant le projet initial et un plan de marquage prédéfini. Au cours du chantier, le projet originel fut modifié pour insérer dans la charpente un dispositif longitudinal axial selon les nouvelles techniques de contreventement en vigueur au milieu du XIII<sup>e</sup> s. Avec majoritairement des bois de la dernière coupe de 1253-1255, le maître d'œuvre a donc réalisé des fermes principales selon une nouvelle structure, sans écharpes, pour pouvoir insérer le contreventement axial dont les éléments ont eux-mêmes été taillés dans ce dernier stock. Cette modification du projet incluait également un contreventement dans le plan des chevrons. S'il y a eu une modification du projet initial, celle-ci est intervenue au cours de la réalisation de la charpente, comme le prouve la conservation du plan de marquage primitif des bois et des fermes.

Le levage de la charpente de la nef est effectué en 1256 ou peu après. Les fermes ont été dressées à partir du pignon occidental depuis un plancher de travail disposé en haut des gouttereaux, et sur lequel les fermes étaient assemblées puis levées une à une. Le levage a progressé vers l'est, en reculant le plancher de travail travée par travée, vraisemblablement en continu jusqu'au chevet du chœur en 1257, après le démontage de sa charpente provisoire. Les bois étaient levés jusqu'à ce plancher de travail depuis l'intérieur du vaisseau, en l'absence des voûtes sexpartites qui ont été construites après l'achèvement de la charpente, comme les arcs inférieurs des arcs-boutants destinés à reprendre les poussées de ces voûtes.

Dès 1259 et pendant les quatre années qui suivirent, des abattages ont été effectués en prévision d'une reprise de la charpente, probablement pour ajouter une flèche en bois et un faux-transept à l'aplomb de la quatrième travée de voûtes. En 1262, les dernières travées de la nef, après F56, ont été démontées pour établir un plancher de travail destiné au levage de ces ouvrages. À l'issue de ce chantier, les fermes de ces travées, dont F57-F67, ont été remontées avec des bois nouvellement abattus en complément de réemplois provenant des anciennes fermes qui expliquent certaines modifications structurelles maladroites.

Couverte à l'origine en grandes tuiles, cette charpente témoigne des avancées technologiques de son temps avec l'adoption des dispositifs de contreventement longitudinal qui se développent au cours du XIII<sup>e</sup> s. Sa structure à chevrons-formant-fermes constituée de travées courtes et de fermes à

forte pente, soutenues en tête par des liernes axiales, est l'expression d'une pensée technique qui cherche à limiter au minimum les poussées latérales sur les gouttereaux. Cette volonté de stabiliser ces murs se manifeste aussi par la structure des arcs-boutants, dont les arcs supérieurs placés très haut sont destinés à limiter ces charges et à compenser les poussées occasionnelles du vent sur la toiture. Le chaînage métallique qui ceinture le haut des gouttereaux, à 90 cm sous les sablières, participe à ces innovations de l'époque gothique qui consistent à stabiliser et à renforcer un mur qui tend à s'amincir et à s'ouvrir de plus grandes verrières<sup>47</sup>.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDRAULT-SCHMITT 2010  
Andrault-Schmitt C. - *La cathédrale de Tours*, La Crèche, Geste éditions.
- BRANNER 1957  
Branner R. - Les portails latéraux de Bourges, *Bulletin Monumental*, t. CXV, 4 : 263-270.
- BRANNER 1962  
Branner R. - *La Cathédrale de Bourges et sa place dans l'architecture gothique*, Bourges, éd. Tardy.
- Charpentes 2002  
*Charpentes de la région Centre du XII<sup>e</sup> au XIII<sup>e</sup> siècle*, Centre de Recherches sur les Monuments Historiques, Monum, Éditions du Patrimoine.
- CTBA 2004  
Centre Technique du Bois et le l'Ameublement - *Guide Technique sur la récolte et la conservation des chablis* [http://www.fcba.fr/tempete/docs/guide\\_recolte\\_chablis.pdf?PHPSESSID=88b6a0ba850bd993a54fd443a9d6b6a](http://www.fcba.fr/tempete/docs/guide_recolte_chablis.pdf?PHPSESSID=88b6a0ba850bd993a54fd443a9d6b6a)
- EPAUD, BERNARD 2009  
Epaud F., Bernard V. - L'évolution des charpentes d'églises du Val d'Oise, du XI<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle, in : *Revue archéologique du Centre de la France*, Tome 47, 2008, mis en ligne le 18 mai 2009. URL : <http://racf.revues.org/index1205.html>.
- EPAUD 2007  
Épaud F. - *De la charpente romane à la charpente gothique en Normandie*, CRAHM, Caen.
- EPAUD 2006  
Epaud F. - *Étude des charpentes de l'abbaye de Royaumont (95)*. Rapport inédit, Fondation Royaumont.
- FERAUGE, MIGNEREY 1996  
Ferauge M., Mignerey P. - L'utilisation du fer dans l'architecture gothique : l'exemple de la cathédrale de Bourges, in : *Bulletin monumental*, n° 154 : 129-148.
- GAUCHERY, BRANNER 1953  
Gauchery R. et Branner R. - La cathédrale de Bourges aux XI<sup>e</sup> et XII<sup>e</sup> siècles, *Bulletin monumental*, CXI : 105-123.
- HAMON 2002  
Hamon E. - La cathédrale de Bourges : bâtir un portail sculpté à l'époque flamboyante, *Revue de l'art*, n° 138, 4 : 19-30.
- HAMON 1999  
Hamon E. - *Un grand chantier de l'époque flamboyante : la reconstruction de la tour nord de la cathédrale de Bourges (1507-1537)*, thèse d'École des chartes pour le diplôme d'archiviste paléographe, Paris, 4 tomes.
- HAMON 2001  
Hamon E. - Le financement du chantier de la tour nord de la cathédrale de Bourges au début du XVI<sup>e</sup> siècle, in : J. et O. Chapelot (dir.), *Du projet au chantier. Maître d'ouvrage et maîtres d'œuvre aux XIV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècles*. Paris, éd. de l'EHESS : 117-139.
- HAZÉ 1830  
Hazé - *Album du Berry lithographié, dédié et présenté à S. A. R. Madame, duchesse de Berry*, 1<sup>re</sup> partie, Bourges.
- HOFFSUMMER 1989  
Hoffsummer P. - *L'évolution des toits à deux versants dans le bassin mosan : l'apport de la dendrochronologie (XI<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> siècle)*, thèse de doctorat d'histoire de l'art et d'archéologie, 2 vol., Université de Liège.
- HOFFSUMMER (DIR.) 2002  
Hoffsummer P. - *Les charpentes du XI<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle, typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris, Monum/Cahiers du Patrimoine n° 62.
- HUGONOT 1996  
Hugoniot J.-Y. - Premier inventaire des marques de la cathédrale de Bourges (Cher), *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry* n° 127 : 17-29.
- JACQUET 2003  
Jacquet G. - *La forêt en Val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie. L'exemple de l'Indre-et-Loire (X<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècles)*, thèse de doctorat d'histoire, 3 vol., Université François Rabelais de Tours.
- LEFÈVRE 2003  
Lefèvre S. - La question des grandes enceintes quadrangulaires du bassin de la Risle : Résultats de la

47. L'étude de la charpente de cette nef trouvera sa prolongation dans l'analyse à venir, dans les trois ans qui suivent, de celle du chœur.

- campagne de sondages 2002, sur le site des Grands Parquets à Condé-sur-Risle (Eure), *Haute-Normandie Archéologique*, Bulletin n° 8 : 25-31.
- LUCHAIRE 1885  
Luchaire A. - *Études sur les actes de Louis VII*, Paris.
- MARGUERYE 1889-1890  
Marguerye (de) M. - Le grand incendie de la cathédrale de Bourges, *Mémoires de la Société des Antiquaires du Centre*, XVII : 177-228.
- MARTÈNE, DURAND 1724,  
Martène, Durand - *Amplissima Collectio*, Paris.
- QUERRÉ, BOUQUILLON 1995  
Querré G. et Bouquillon A. - Thermoluminescence et datation. Exemple de la cathédrale de Meaux, *Techne*, n° 2 : 62-67.
- PONSOT 2007  
Ponsot P. - *Cathédrale Saint-Étienne de Bourges (Cher). Couverture de la haute nef. Rapport de présentation*, DRAC Centre, décembre.
- RAYNAL 1844  
Raynal L. - *Histoire du Berry*, II, Bourges.
- RIBAUT 1995  
Ribault J.-Y. - *Un chef d'œuvre gothique, la cathédrale de Bourges*, Paris, éd. Anthèse.
- RIBAUT 1996  
Ribault J.-Y. - Observations et hypothèses sur la cathédrale romane de Bourges (XI<sup>e</sup>-XII<sup>e</sup> siècles), *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, n° 127, septembre : 5-17.
- TAUPIN 1996  
Taupin J.-L. - Échos des toitures du XIII<sup>e</sup> siècle, *Monumental*, n° 15 : 46-53.
- ROGER, GAUCHERY 1916  
Roger A., Gauchery P. - La flèche centrale et le faux-transept de la cathédrale de Bourges, *Mémoires de la Société des Antiquaires du Centre*, XXXVII : 177-199.
- VELHAGEN 1996  
Velhagen R. - *Vitrae bellorum domini*. Guillaume du Donjon et les vitraux du déambulatoire de la cathédrale de Bourges, in : *En Berry, du Moyen Âge à la Renaissance : pages d'histoire et d'histoire de l'art offertes à Jean-Yves Ribault*, *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, novembre : 337-332.



**ANNEXE : Fig. 10 :** Tableaux des analyses dendrochronologiques réalisées sur la charpente de la nef et sur les réemplois des fourrures (C.E.D.R.E. Perrault C. 2010).

**Travée 1 : Fermes 16-20**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
101	Entrait	16	43	-1 / -2	14	proposition 1765 BF
104	Poinçon	16	43	oui	13	1242 BF
106	Entrait retroussé	17	59	oui	15	1243 BF
102	Jambette nord	18	108	proche	23	1243 BF
12 C	Chevron nord	18	103	proche	20	peu après 1239 (aubier incomplet)
103	Jambette nord	19	46	oui	10	1243 BF
14	Chevron sud	19	78	?	18	1240 BF
105	Echarpe nord	20	59	-1 / -2	12	1243 BF

**Travée 2 : Fermes 21-25**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
107	Poinçon	21	88	oui	15	1238 BF
108	Contrefiche sud	21	101	proche	13	1242 BF
113	Chevron sud	22	126	proche	21	1334 cb ?
112	Linteau ?	20/23	55		0	après 1309
110	Echarpe nord	23	58	-1	13	1243 BF
111	Entrait retroussé	23	77	-1 / -2	16	1240 BF
109	Entrait retroussé	24	53	-1 / -2	8	1236 BF
114	Chevron sud	25	44	-3 / -5	6	1242 BF

**Travée 3 : Fermes 26-30**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
8	Poinçon	26	45	-10	9	1255 BI
115	Entrait	26	87	-1	Lim. aub.	après 1217 (pas d'aubier)
117	Chevron sud	26	56	proche	12	1253 (+1 ?) = 1254 BI ?
118	Aisselier sud	26	49	-1	18	1254 BF
119	Entrait retroussé	27	64	-2	21	1243 BF
121	Entrait retroussé	28	23+9	proche	9 (0 mesure)	non daté
120	Entrait retroussé	29	45+17	oui	17	1224 + ? + 17BF = 1243 ? (mq 1 ou 2 c.)
116	Chevron sud	30	110	-1	16	peu après 1240

**Travée 4 : Fermes 31-35**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
122	Poinçon	31	46	-1 / -2	15	1254 BF
123	Entrait retroussé	31	35	oui	11	1255 BI
129	Chevron nord	31	57	-1 / -2	12	1254 BF
124	Aisselier sud	31	39	-1	12	1243 BF
125	Echarpe nord	32	83	oui	25	1239 BF
126	Entrait retroussé	33	59	-5	19	1242 BF
127	Entrait retroussé	34	46	-1	15	1225 + 15 (1240) (aubier estimé)
128	Echarpe nord	35	61	-1 / -2	11	1240 BF

**Travée 5 : Fermes 36-40 (nouveau marquage)**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
3	Poinçon	36	59	proche	14	1243 BF
132	Contrefiche nord	36	30	-1 / -2	11	1243 BI
135	Entrait retroussé	36	59	-2 / -3	16	1243 BF
131	Echarpe sud	37	44	-5	11	1240 BF ?
130	Chevron nord	38	101	oui	12	1237 BF
134	Entrait retroussé	39	57	-1 / -2	14	1243 BF

**Travée 6 : Fermes 41-45**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
136	Poinçon	41	50	-1 / -2	14	1254 BF
138	Chevron nord	41	63	oui	15	1253 BF
11	Entrait retroussé	42	55	-1 / -2	12	1243 BF
9	Echarpe sud	43	84	oui	26	1232 BF
137	Echarpe nord	44	83	-1	23	1240 BF
139	Chevron sud	45	77	proche	24	1240 BF

**Travée 7 : Fermes 46-50**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
140	Poinçon	46	45	-1 / -2	14	1254 BF
141	Entrait retroussé	46	34	oui	12	1230 ou 1236 BF
148	Entrait	46	76	-1	11	après 1224 (aubier incomplet)
142	Entrait retroussé	47	47	proche	8 (+4)	1238 + 4 = 1242 BF
143	Chevron nord	47	91	proche	19	1240 BF
144	Chevron nord	48	90	?	15	peu après 1241 (mq 1 ou 2 cernes)
145	Entrait retroussé	48	42	-3 / -5	non	1240 BF
147	Chevron nord	49	78	oui	0 (12 au -)	1221 + (12 min) BF
152	Echarpe nord	49	70	-1	22	1230 BF
146	Entrait retroussé	50	50	oui	16	1243 BF ?

**Travée 8 : Fermes 51-55**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
5B	Entrait	51	90	-1 / -2	20	mq qq c., non daté
149	Chevron nord	51	61	-2 / -3	21	1255 BF
151	Poinçon	51	62	-3 / -5	21	1244 BI
150	Chevron nord	52	79	proche	7 (+15)	1223 (+15)
153	Echarpe sud	53	82	-1	23	1238 BF
154	Echarpe nord	54	90	-1	27	1239 BF
155	Echarpe nord	55	50	oui	15	peu après 1252

**Travée 9 : Fermes 56-61 (nouveau marquage)**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
6	Entrait	56	82	-2 / -3	12	1237 BF
156	Poinçon	56	37	-1 / -2	12	1253 BF
157	Chevron nord	57	45	?	13	1261 BF
159	Echarpe nord	58	57	oui	19	1243 BF
160	Chevron sud	59	56	proche	15	1259 (cb ?)
158	Chevron nord	61	32	-1 / -2	13	non daté

**Travée 10 : Fermes 62-67**

N°	Nature	Ferme	Cernes	Moelle	Aubier	Abattage
161	Poinçon	62	56	-1 / -2	15	1262 BF ?
18	Chevron sud	63	57	proche	7	1260 BF
166	Chevron nord	63	43	-1	17	1261 BF
162	Echarpe sud	64	92	oui	16	1238 BF
163	Echarpe nord	65	39	-1 / -2	16	non daté
167	Chevron nord	65	33	proche	9	non daté
164	Echarpe nord	66	41	proche	14	1243 BI
165	Echarpe sud	66	92	-1 / -2	16	1242 BF
168	Chevron nord	67	21		9	1260 BF
169	Poinçon	67	55	-1 / -2	15	1262 BI
20	Entrait	67	50	proche	11	1259 BI

BI : bois initial (abattage au printemps).

BF : bois final (abattage en automne-hiver).

Tableau des analyses dendrochronologiques effectuées sur les réemplois des fourrures :

	Pièce	Cernes	Chronologie	Aubier	Cernes d'aubier	Ecorce	Abattage
51	44 S M4	37	1216-1252	oui	8	proche	après 1252
52	45 S ?	41	1214-1254	oui	17	oui	1254 BF
53	41 M 3 S	50	1204-1254	oui	15	oui	1254 BF
54	32 ?	36	1204-1239	-10	3	non	après 1239
55	40 S M5	31	1224-1254	oui	10	oui	1254 BI
56	49 M 3S	72	non daté		non		
57	21 S 1M	72	non daté		15		
58	25 N 1M	48	1196-1243	oui	7	non	vers 1253-55
59	43 S M2	26	1229-1254	oui	8	oui	1255 BI r
60	43 S M1	26	1229-1254	proche	8	proche	peu après 1254
61	49 2M	41	1195-1235	proche	0	non	
62	45 M 3S	44	1207-1250	oui	13	non	
63	40 S M2	39	1198-1236	-5/-10	0	non	
64	41 S M2	63	1192-1254	proche	15	oui	1254 BF
65	26 N 3M	78	1633-1710 ?	-5	18	non	
66	26 N	80	1633-1712	-10	17	oui	
67	43 S 3M	31	1224-1254	oui	10	oui	1254 BF ?
68	42S 2M	36	1219-1254	-5/-10	13	oui	1254 BF
69	39S 1M	36	1219-1254	oui	13	oui	1254 BI